

11
Lej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
" ARAGON "



ESTUDIO DE AGREGADOS Y DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PARA LA CENTRAL HIDROELECTRICA "AGUAMILPA" NAYARIT.

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :

EDUARDO HIRIART RODRIGUEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

INTRODUCCION

CAPITULO	I.- GENERALIDADES	1
	1.1 Objetivo del estudio	4
	1.2 Descripción general de la cuenca	5
	1.3 Hidrología y metereología de la cuenca	6
	1.4 Características de las estruc- turas que componen la central hidroeléctrica	8
CAPITULO	II.- BANCOS DE AGREGADOS	13
	2.1 Agregados Naturales	15
	2.2 Agregados Manufacturados	18
	2.3 Muestreo de depósitos naturales	21
	2.4 Muestreo de canteras	24
	2.5 Volumen de agregados	25

CAPITULO	III.-	PRUEBAS DE LABORATORIO	37
	3.1	Pruebas físicas del cemento	38
	3.2	Pruebas físicas de los agregados	43
	3.3	Ejemplos	60
	3.4	Propiedades del Agua	67
	3.5	Aditivos	70
CAPITULO	IV.-	DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO	76
	4.1	Método ACI	80
	4.2	Método PCA	97
CAPITULO	V.-	CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO	108
	5.1	Control de producción del concreto	109
	5.2	Transporte, colocación y compactación del concreto	116
	5.3	Acabado y curado del concreto	121
	5.4	Reparaciones del concreto	124
CAPITULO	VI.-	VERIFICACION DE CALIDAD DEL CONCRETO	126
	6.1	Concreto endurecido	129
	6.2	Análisis Estadístico	137
	6.3	Cartas de Control	141
CONCLUSIONES			146
BIBLIOGRAFIA			148

NOTACION Y DEFINICIONES

A/C	Relación agua-cemento
a/d	Relación de esbeltez, altura-diámetro
CN	Consistencia normal de la pasta de cemento
da	Densidad de la arena
dg	Densidad de la grava
E	Expansión de las barras (Sanidad del cemento)
f'c	Resistencia de proyecto a 28 días
fcr	Resistencia promedio requerida
Gwh/año	Giga watts hora por año (10^9 watts)
K	Constante que sirve para calcular los consumos reales de cemento, agregados y agua en una mezcla de concreto.
Mw	Megawatts (10^6 watts)
MF	Módulo de finura de la arena
PVS	Peso volumétrico suelto
PVV	Peso volumétrico varillado
Pa	Porcentaje de arena
Pg	Porcentaje de grava
R	Intervalo .- Diferencia entre las dos resistencias de dos especímenes.

\bar{R}	Intervalo promedio .- Es la suma de las diferencias entre cada dos especímenes sumados y divididos entre el número de pruebas.
SSS	Saturado y superficialmente seco
TM	Tamaño máximo del agregado
t	Variable que depende del porcentaje previsto de resultados inferiores a f'c.
Va	Volumen de arena
Vg	Volumen de grava
Vabs.	Volumen absoluto
v	Coefficiente de variación
\bar{X}	Promedio o media aritmética
σ	Desviación estándar

INTRODUCCION

Los primeros estudios topográficos e hidrológicos de la cuenca del río Santiago, se realizaron con fines de explotación de potencial hidroeléctrico; estos estudios se remontan al inicio de los años 50, donde en años más recientes, con la industrialización del país y con el consiguiente aumento de la demanda de energía eléctrica, los estudios han sido continuados y profundizados.

De los diseños y estimaciones preliminares, el aprovechamiento hidroeléctrico de Aguamilpa, resultó entre los más interesantes y económicos, recibiendo la prioridad entre los proyectos de construcción.

La boquilla del proyecto Aguamilpa está ubicada en la porción central del Estado de Nayarit, a 40 kms al Norte de la Ciudad de Tepic. Sus coordenadas geográficas son, aproximadamente: 22° de latitud Norte y 105 ° de longitud Oeste del Meridiano de Greenwich.

La presa de Aguamilpa se diseñó para ser construida de materiales graduados, con corona hasta la elevación 223 m, desvíos y vertedores en túneles y planta hidroeléctrica subterránea con un desplante a los 40 m.s.n.m.

Los resultados de estudios para la operación del embalse en función del nivel máximo en operación - (NAMO), a la cota 217 m, nos indica que Aguamilpa generará 2230 GWh/año.

La planta tendrá una potencia total instalada de 993 MW, con dos líneas de salida de 400 Kv hacia la subestacion de la Ciudad de Tepic.

CAPITULO I

G E N E R A L I D A D E S

1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO.- El desarrollo de este trabajo se enfocará hacia el campo de la tecnología del concreto, que en Aguamilpa abarca las estructuras de concreto estructural y masivo en: obras de desvño, obras de excedencias, obras de generación (obras de toma, tuberías de presión y casa de máquinas), obras complementarias, etc.

Objetivamente se explicará el control de la calidad del concreto que es necesario para la construcción de cualquier complejo generador de energía eléctrica o para -diversas obras de importancia.

La durabilidad y el buen funcionamiento de las estructuras de concreto diseñadas para Aguamilpa, dependerá del seguimiento adecuado de normas, así como el cumplimiento de las especificaciones de obra que se requieren para la --obtención de concreto de buena calidad.

Los métodos de pruebas y las especificaciones referidas en este trabajo serán de acuerdo a la American Society for Testing and Materials (ASTM) .

Se comenzará desde que se estudian los componentes del concreto, hasta la fabricación, transporte, colocación, curado y reparación de los concretos de las diferentes estructuras.

1.2 DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA.- Esta cuenca donde se encuentra el proyecto Aguamilpa, se ubi ca en la región central de la vertiente del Océano Pací fico, con localización aproximada entre los meridianos 101° y 105° de longitud Oeste y entre los paralelos 20° y 23° de latitud Norte.

El río Santiago fluye en dirección general Sures te-Noroeste desde su inicio en el lago de Chapala a 1525 m.s.n.m.; la mayor parte de la cuenca se desarrolla al -- Noreste del río, entre regiones montañosas por donde escu rren los afluentes más importantes del río Santiago, sien do éstos : el río Verde, río Juchilapa, río Bolaños y río Huaynamota. En correspondencia a la confluencia con este último, el río Santiago cambia de dirección para llegar -- por fin al Océano Pacífico, según se muestra en la fig. 1.1.

Orográficamente la cuenca se localiza al Sur de la parte Noroccidental del país, teniendo al Oriente la -- Sierra Madre Occidental, al Sureste la Cordillera Neovolcá nica y al Suroeste la Planicie Costera.

El área total de la cuenca en estudio, abarca una superficie aproximada de 73,834 km², desde el lago de Chapa la hasta el sitio de la C.H. Aguamilpa.

1.3 HIDROLOGIA Y METERELOGIA DE LA CUENCA.-

La cuenca está cubierta por una red de unas 50 estaciones hidrométricas y más de 150 estaciones climatológicas.

Para efectuar el análisis metereológico, se tomaron las estaciones climatológicas más próximas al sitio de Aguamilpa, que son las estaciones de Huaynamota I y II, Despeñadero, Carrizal, Yago y Capomal, localizadas en la fig. 1.2 .

Con base en los registros climatológicos de las estaciones ya mencionadas, se observó el siguiente comportamiento: la precipitación pluvial registrada fue, en promedio de 1272, con máximo de 1649 y mínimo de 909 mm por año; la evaporación registrada promedio fue de 2200, con un máximo de 2420 y un mínimo de 1900 mm por año; la temperatura media mensual promedio resultó de 28.3 , con un máximo de 33.1 y un mínimo de 22.9 ° C. Determinándose a su vez que el río Santiago tiene dos períodos climatológicos bien definidos: una época de sequía, que abarca desde diciembre hasta junio, y otra temporada de lluvias, desde julio hasta noviembre.

Correlacionando los datos hidrométricos de las diversas estaciones ubicadas en el colector principal y -

afluentes, referidos a la estación Carrizal, se obtuvieron registros o escurrimientos medios mensuales del orden de 615 millones de m³ con los cuales se estudió el funcionamiento del embalse.

De los escurrimientos totales en Aguamilpa, llegan en su mayoría de la cuenca del río Huaynamota, siendo este afluente el más importante del río Santiago.

Con los gastos máximos anuales de la estación Carrizal, se calculó por medio del método de Gumbel, un gasto máximo probable de 17,500 m³/seg, asociado a un período de retorno de 10,000 años. Con este gasto pico se efectuó el tránsito de avenidas, reflejando el nivel de aguas máximo extraordinario (NAME) a la elevación de 221.20 m.s.n.m., para almacenar 5,550 millones de metros cúbicos.

Efectuando el análisis de material sólido en suspensión se calculó la capacidad de azolves, ubicando el nivel de aguas mínimo en operación (NAMINO) a la elevación 158 m.s.n.m., conteniendo una capacidad de 1,350 millones de metros cúbicos. Estudiando el funcionamiento del vaso, se determinó que el nivel de aguas máximo en operación (NAMO), se ubica a la cota 217.00 m.s.n.m., registrando una capacidad de 4,200 millones de metros cúbicos, garantizando una generación de 2,230 GWh/año.

1.4 CARACTERISTICAS DE LAS ESTRUCTURAS QUE COMPONEN LA CENTRAL HIDROELECTRICA.- Cortina construída de materiales graduados con corona de 15 m a la elevación 223 m, con taludes 2:1 aguas arriba y aguas abajo; longitud de la corona de 660 m con desplante a la elevación de 40 m.

Obras de desvío: Consta de 3 túneles de 15 m de sección en portal y longitudes de 680, 820 y 900 metros, respectivamente, llevando un gasto máximo total de 7,000 - m^3 /seg.

Obras de toma: Estructuras de concreto reforzado, constituídas por 4 torres de 83 m de altura y 25 m de diámetro.

Conducción a presión: Se cuenta con 4 túneles de diámetro interior de 7.5 m y de 285 m de longitud, de los cuales 115m serán fabricados con camisa de acero para contrarrestar el golpe de ariete y el resto con concreto reforzado, contando con sus respectivos pozos de oscilación de concreto reforzado con dimensiones de 8 X 8 X 45 m de altura.

Casa de máquinas: Estructura subterránea de concreto reforzado de 20 m de ancho por 130 m de largo y 50 m de altura, que aloja cuatro generadores contando con sus respectivos transformadores situados en la galería de transformadores con dimensiones 6 X 6 X 100 m, generando una potencia instalada de 993 MW; la subestación se ubicará a la intemperie, arriba de casa de máquinas.

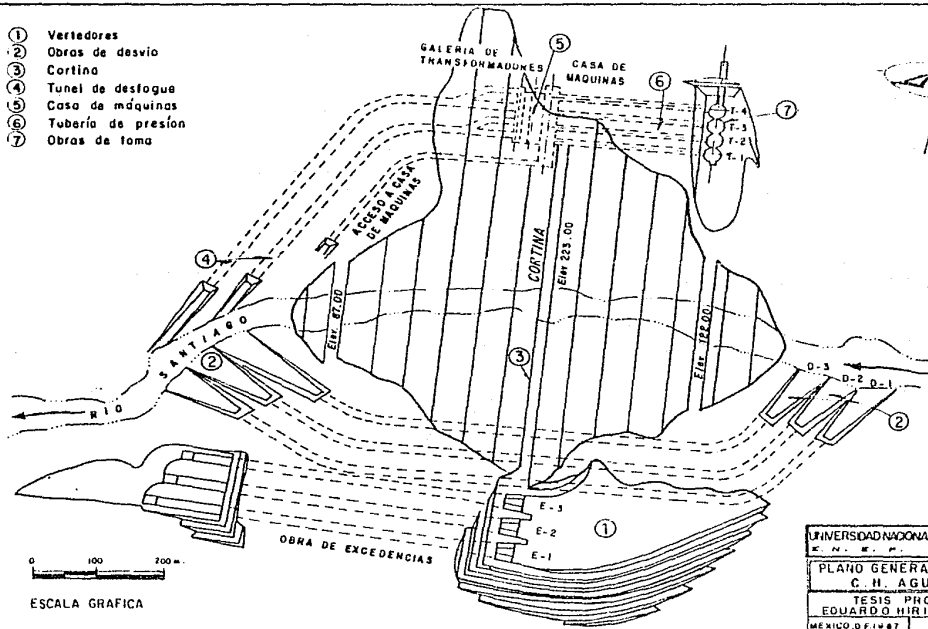
Túneles de desfogue: Dos túneles de concreto reforzado de 13 m de diámetro interior, con longitudes de 540 y 630 m, terminando en sección tipo portal.

Vertedores: Consiste en 3 túneles vertedores de concreto reforzado con diámetro interior de 13 m, -- controlados por compuertas radiales, llevando un gasto máximo cada uno de $4\ 000\ m^3 / \text{seg.}$

En la fig. 1.3 se presenta el plano general de la obra.

Es relevante mencionar que los volúmenes de -- concreto masivo y estructural utilizados en obras de excedencias, casa de máquinas, revestimiento en túneles, - etc. alcanzan un fuerte porcentaje del volumen total de los materiales que componen el complejo hidroeléctrico.

- ① Vertedores
- ② Obras de desvío
- ③ Cortina
- ④ Tunnel de desfogue
- ⑤ Casa de máquinas
- ⑥ Tubería de presión
- ⑦ Obras de toma



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 E. N. E. P. ARAGÓN
 PLANO GENERAL DE LA OBRA
 C. H. AGUAMILPA
 TESIS PROFESIONAL
 EDUARDO HIRIART RODRÍGUEZ
 MÉXICO, D.F. 1967 Fig. 1.3

CAPITULO II

BANCOS DE AGREGADOS

Debido a la incesante necesidad de energía eléctrica en las poblaciones del mundo, continúan los proyectos para la construcción de complejos nucleoelectrónicos, hidroeléctricos, geotérmicos, a la vez de puentes, pavimentos, edificaciones, etc.

Para la realización de cualquier obra, será imprescindible la necesidad de agregados (grava y arena), que normalmente ocupan entre un 70 y 80 % del volumen total del conglomerado (concreto). Es trascendente hacer notar que la mayoría de grava y arena tiene una existencia ilimitada por encontrarse en la corteza terrestre; es nuestra tarea únicamente buscar en las zonas cercanas a las construcciones el material de buena calidad, sano y en cantidad suficiente para los concretos de la obra.

En ocasiones los materiales se localizan fácilmente en ríos, llanuras, etc., pero a veces no es factible su obtención en depósitos fluviales, marinos u otros, obligándonos a encontrarlo en macizos rocosos que requieren su explotación para obtener los tamaños requeridos para el concreto.

De acuerdo a su procedencia podemos clasificar a los agregados en naturales y manufacturados o triturados.

La planta de Aguamilpa requerirá aproximadamente - 500,000 metros cúbicos de agregados, que se utilizarán en las diferentes estructuras de concreto estructural y masivo.

2.1 AGREGADOS NATURALES.- La fragmentación de agregados naturales se debe al efecto constante de erosión y traslado que producen las fuerzas de la naturaleza, donde sus agentes son el agua, hielo y aire; también son agregados naturales los que provienen de las actividades volcánicas.

Los procesos imperantes que ayudan a la desintegración de rocas, son conocidos como diastrofismo, vulcanismo y relieve que serán descritos a continuación:

DIASTROFISMO.- Es el sistema por el cual enormes masas de la corteza terrestre se trasladan de un lugar a otro sufriendo reacomodamientos que producen su trituración.

VULCANISMO.- Corresponden los efectos que se manifiestan sobre las rocas en estado de fusión antes de ser lanzadas al exterior, formando grandes yacimientos de agregados naturales como es el caso del Valle de México. Estos yacimientos son también llamados depósitos piroclásticos.

RELIEVE.- La erosión y meteorización son los principales fenómenos naturales que contribuyen al desgaste. La erosión es propiciada primero por el agua que fluye en la corteza terrestre formando ríos y arroyos que transportan el material formando los depósitos aluviales o fluviales; el sol, el viento y los cambios de temperatura son contribuyentes para el desgaste; también producen

erosión, transportan y depositan materiales: el deshielo (depósitos glaciales), el viento (depósitos eólicos), el agua de mar (depósitos marinos), y los lagos (depósitos lacustres).

La meteorización es el conjunto de fenómenos - físicos y químicos que producen el desintegramiento o alteración de las rocas; esta alteración avanza paulatinamente desde la superficie hacia el interior, de manera que el agregado que se desprende de la roca madre es normalmente material alterado que, con frecuencia no es recomendable para fabricar el concreto. Sin embargo, en ocasiones la desintegración de la roca se debe a fuerzas destructivas que no degradan sus propiedades, siendo material sano para la fabricación del concreto.

Dentro del campo de los depósitos de agregados de origen fluvial existen diferentes maneras de formación:

a) CONOS DE DEYECCION.- Siendo depósitos aguas arriba de un valle situado en zonas medias de montañas.

Suelen ser heterogéneas, compuestas de rocas grandes y arena; estos depósitos tienen poca profundidad, debido al poco acarreo. Este material normalmente es de partículas angulares.

b) DEPOSITO DE CAUCE.- Estos se localizan en ríos con grandes cuencas de captación variando de volumen en épocas de avenidas y temporada de secas.

El agregado que se localiza en estos depósitos, presenta una gran variedad de granulometrías, originadas por el depósito de fragmentos de diversos tamaños a lo largo del cauce. La forma de estos materiales es redondeada y en su mayoría presentan buena calidad.

c) TERRAZAS.- Son planicies o escalones que se localizan a los lados del cauce del río, siendo depósitos antiguos provocados por cursos anteriores del río.

Estos agregados suelen estar meteorizados, debido a la antigüedad en el sitio.

d) PLANICIES.- Estas son las zonas más bajas; como valles, lagos, lagunas y desembocaduras donde el agua avanza con dificultad, tendiendo a crear amplios depósitos de material fino. El polvo o material fino es nocivo para la elaboración de concreto, por lo que generalmente es necesario hacer un lavado previo a su utilización, durante el proceso del agregado, logrando materiales limpios, disminuyendo de paso su cantidad de materia orgánica.

2.2 Agregados Manufacturados.- Los agregados - manufacturados o triturados, son aquellos en que la fragmentación de la roca se provoca. Existen también agregados mixtos en que la fragmentación primaria es de origen natural, continuada por una reducción provocada, como es el caso de la trituración de boleos y cantos rodados. El agregado mixto es la mezcla de agregados naturales y triturados.

Cuando no se dispone de agregados naturales cercanos a la obra, es necesaria la transportación de material desde lugares lejanos, o bien, se pueden obtener agregados por medio de la trituración de rocas aledañas al sitio de construcción, buscando también que éstas sean de calidad adecuada.

Las rocas que sirven para producir agregados - triturados, pueden consistir en grandes fragmentos naturales (bloques o boleos), o bien en paredones que se localizan a los lados del río, debiéndose explotar como canteras.

Conviene tomar en cuenta tres requisitos importantes para asegurar la calidad de la roca próxima a triturarse:

- Calidad de la roca
- Potencialidad de la formación
- Características del producto

Calidad de la Roca.- Es necesaria la inspección detallada de un geólogo, para conocer las propiedades de la roca, como son el peso específico, absorción, sanidad, composición mineralógica, resistencia a la compresión.

En la mayoría de estas rocas se manifiesta la presencia de material superficial alterado, donde es importante saber la profundidad de la capa indeseable, también se buscan fracturas o juntas rellenas de arcilla u otro material nocivo para el concreto.

Potencialidad de la formación.- En ocasiones las rocas afloran de la superficie casi completamente, -- donde la potencialidad se conoce simplemente por un levantamiento topográfico. Para el caso contrario, donde la roca aflora en una mínima parte, es necesaria la utilización de barrenos para sondeo o usar métodos geofísicos de medición y así investigar las magnitudes aproximadas y necesarias de roca para triturar.

Características del producto.- Estas características dependen del tipo de roca que se trate, como por -- ejemplo, el cuarzo, que no presenta planos débiles definidos, hace que la fractura sea en cualquier dirección, produciendo fragmentos con tendencias equidimensional; en -- cambio los minerales como los feldepatos, presentan dos -- planos de crucero, logrando fragmentos con tendencia tabular al triturar.

Existen rocas que contienen granos poco entrelazados, tendiendo a disgregarse cuando se trituran, produciendo finos indeseables; por el contrario, hay rocas compactas con granos fuertemente entrelazados que producen poco polvo.

En general se selecciona el equipo de trituración que facilite la obtención de granulometrías aceptables, procurando que el material no contenga fragmentos planos y alargados.

2.3 MUESTREO DE DEPOSITOS NATURALES.- Es difícil encontrar en la naturaleza depósitos de agregados naturales que cumplan con los índices granulométricos requeridos para la fabricación de concretos; normalmente con tratamientos simples son puestos en condiciones granulométricas aceptables.

Por motivos geológicos y topográficos, la extracción de muestras de agregados en ocasiones no se facilita, ya sea la existencia de grandes boleos que estaban ocultos o la existencia de mantos volcánicos situados a poca profundidad y otros problemas. Por estas causas se recomiendan tres procesos que sirven para la exploración de bancos en situaciones adversas y cómodas:

- Barrenos
- Pozos
- Zanjas

Barrenos.- Este procedimiento requiere el empleo de equipo especial de perforación; los más usuales llevan brocas de 6 a 36 pulgadas de diámetro, su aplicación normalmente se limita a grandes obras en las que se requieren fuertes volúmenes de agregados. Este sistema es incosteable cuando en el depósito existen fragmentos de mayor tamaño que la máxima broca disponible.

El volumen de material que se extrae en cada sondeo es mucho menor que con otros procedimientos, debiéndose consi

derar como muestra de un sondeo todo el material obtenido, el cual debe dividirse en varias porciones de acuerdo a la profundidad de extracción. Lo que se busca juzgar con este método, es determinar la composición granulométrica y la contaminación del material con materia orgánica (limo o arcilla).

Pozos.- Es posiblemente el más conveniente para muestreo de agregados naturales, ya que al utilizar herramientas de mano, hace que este procedimiento sea más económico. A veces se presentan casos donde se utiliza maquinaria para excavación.

La profundidad total del pozo es difícil de definir debido a la variedad de tipos de terreno, pero para ello se toman en cuenta los medios disponibles para la excavación como son: características del material, volumen - por explotar, presencia del nivel freático, necesidad de - ademar, etc.

Generalmente la forma de obtener la muestra que represente un pozo depende de su profundidad.

Para pozos poco profundos se excava como mínimo 1.5 metros, y se hace una ranura rectangular a todo lo al - to de una de sus paredes, el material se colecta en el - fondo sobre una lona que permita recuperar todo el material sin contaminarse.

Si existieran diferentes estratos, se recomienda obtener una muestra representativa de cada estrato.

En pozos que necesiten ademarse, la muestra representativa será el material extraído del mismo, siendo conveniente tomar muestras cada metro y medio; si el pozo presenta varios estratos se tomará también una muestra por estrato.

Zanjas.- A menudo existen factores topográficos - del depósito, donde es imprescindible la excavación de zanjas o trincheras, utilizando equipo mecánico. La extracción de las muestras es igual que en los pozos; a diferencia de éstos, en ocasiones no se tienen las profundidades necesarias para obtener una idea general del banco.

Cuando se obtienen muestras de un depósito desconocido, se recomienda efectuar un número limitado de sondeos espaciados lo suficiente para abarcar toda el área explotable.

Comunmente se traza una cuadrícula sobre el terreno con intervalos de 100 metros aproximadamente ejecutando - sondeos en las intersecciones; si se observa heterogeneidad - del material se reanuda una segunda etapa exploratoria, marcando en esta ocasión cuadrículas cada 50 metros.

Una vez que se han extraído las muestras por cualquier procedimiento, es forzoso enviar éstas al laboratorio, para conocer las propiedades de los agregados. Si la finalidad es transferir el material para ejecutar pruebas de laboratorio y en seguida hacer mezclas de concreto, por cada banco de agregados, será suficiente mandar muestras integrales mínimas de 50 kg arena y 75 kg de grava, por cada mezcla de concreto especificada para el proyecto.

2.4 MUESTREO DE CANTERAS.- Adquirir muestras representativas del material en una formación de roca, propuesta para explotación, frecuentemente es laborioso, debido a la existencia de formaciones que no presentan un frente definido o contienen material alterado.

Si se busca obtener muestras de roca en el interior de la masa, conviene hacerlo en zonas alteradas o lugares donde se aprecie cambio aparente de material, con objeto de conocer no sólo las propiedades de la roca inalterada, sino también de aquella que manifieste alteración de cualquier índole.

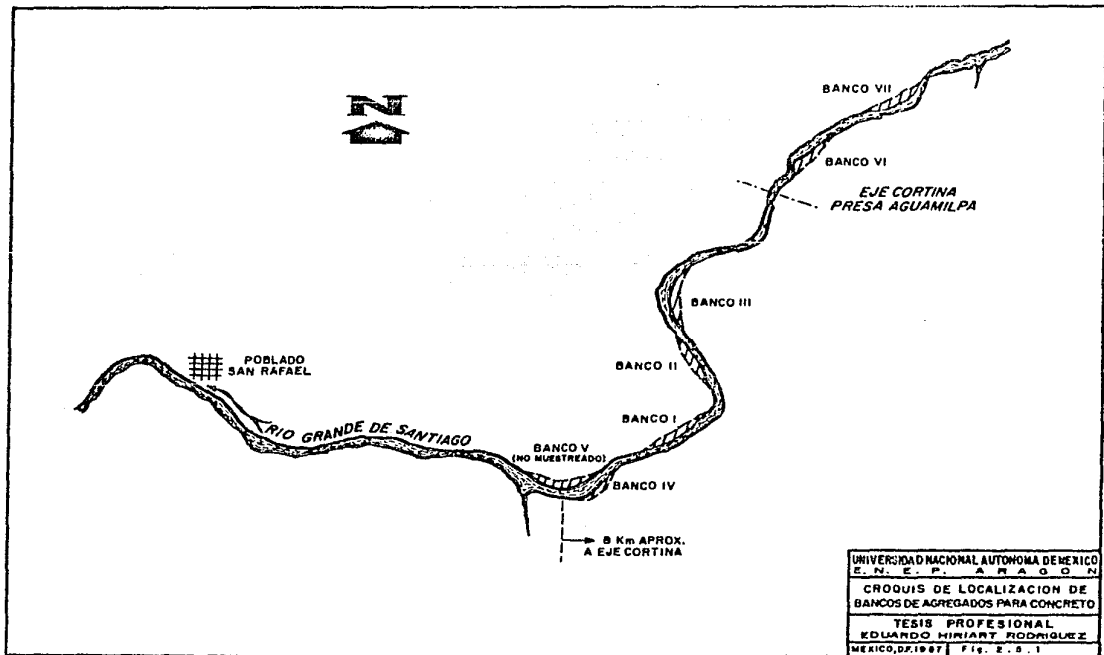
Es recomendable contar con la información necesaria para que el sitio quede debidamente definido.

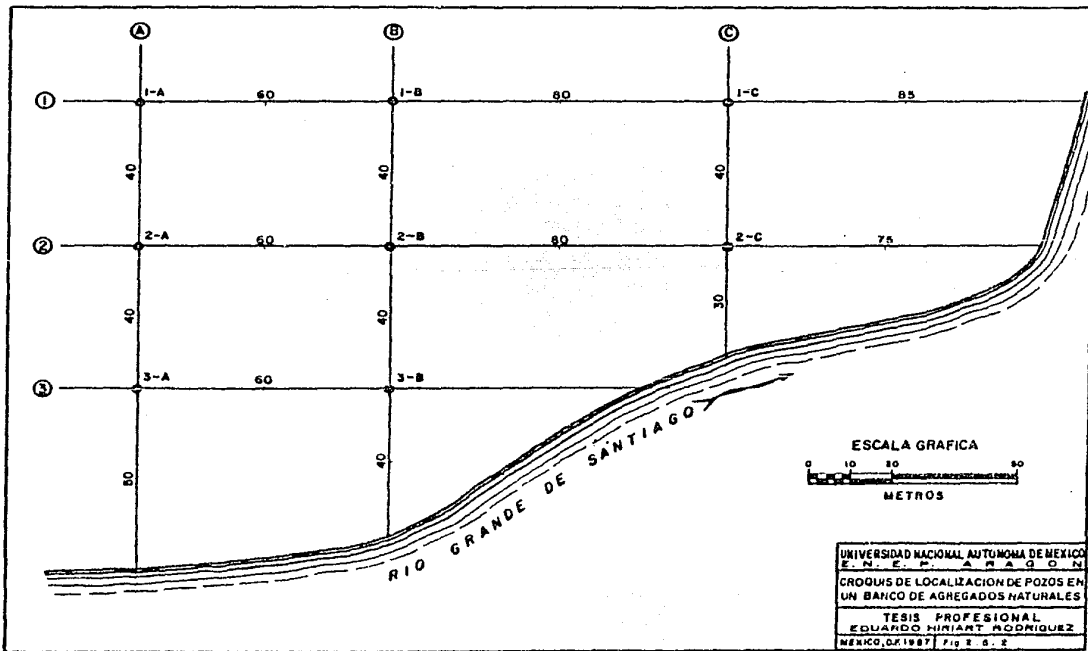
Se requiere por lo menos una muestra para cada zona diferente dentro de una misma cantera, pero no menos de dos muestras por cada cantera propuesta.

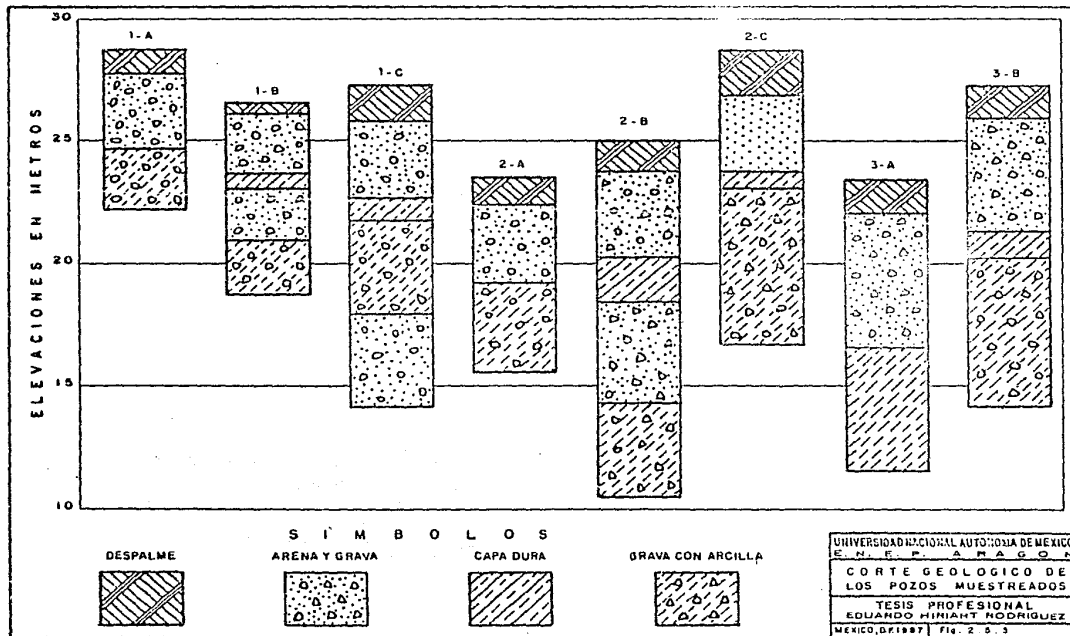
Para obtener muestras profundas, normalmente es necesario el empleo de explosivos o la perforación de barrenos, con sistema de recuperación, ofreciendo este último la ventaja de suministrar datos para cortes geológicos. En este caso las muestras deben constar de todo el material recuperado en la barrenación.

2.5 VOLUMEN DE AGREGADOS.- Para calcular el volumen de material pétreo de la C.H. Aguamilpa, requerimos de un mapa que nos indique la localización de la presa, incluyendo los depósitos de agregados, según se muestra en la fig. 2.5.1.

Continuamos con un croquis aproximado de un banco (tomado al azar), que contenga los pozos o sondeos realizados con sus respectivos cortes geológicos de cada pozo, tal como se ilustra en las figuras 2.5.2 y 2.5.3 .







A manera de ejemplo se ilustra con las figuras 2.5.2 y 2.5.3 lo que debe efectuarse para cada banco en estudio; ésto es solo para mostrar el desarrollo general.

Obteniendo las generalidades de los bancos, continúa el cálculo de los volúmenes de agregados, donde nos apoyaremos en los siguientes formatos:

En la forma 2.5.1, hacemos el análisis granulométrico de un pozo, indicando sus contaminaciones; seguimos con la forma 2.5.2 donde registramos las granulometrías de todos los pozos del banco, mencionando el porcentaje de material aprovechable; y por último ocupamos la forma 2.5.3 que nos indica el volumen de agregados aprovechable, tanto de grava como de arena. Estos datos van de acuerdo con los resultados explicados posteriormente.

MALLA No	RETENIDO (kg.)	PARCIAL %		kg	%
7"	26.500	3.3	MAT. DESPERDICIO > 6"	41.500	5.2
6"	15.000	1.9			
5"	20.100	2.5			
4"	23.200	2.9	MAT. APROVECHABLE < 6"	756.300	94.8
3"	72.000	9.0			
2"	180.300	22.6			
1 1/2"	131.200	16.4	GRAVA	631.100	83.4
3/4"	162.600	20.4			
3/8"	37.200	4.7			
No. 4	4.500	0.6	ARENA	125.200	16.6
- 4	125.200	15.7			
	797.800	100.0	TOTAL	756.300	100.0
RETENIDO EN LA MALLA No 4				672.600	84.3
PASA EN LA MALLA No 4				125.200	15.7
T O T A L				797.800	100.0

GRANULOMETRIA DE LA ARENA

MUESTRA - No 1				MUESTRA - No 2				
MALLA No	RETENIDO g	PARCIAL %	ACUMULADO %	MALLA No	RETENIDO g	PARCIAL %	ACUMULADO %	PROMEDIO
8	14.2	2.6	2.6	8	9.5	2.4	2.4	2.5
16	11.1	2.0	4.6	16	8.8	2.2	4.6	4.6
30	35.5	6.5	11.1	30	31.6	8.0	12.6	11.8
50	157.1	28.8	39.9	50	126.1	31.9	44.5	42.2
100	188.6	34.6	74.5	100	126.5	32.0	76.5	75.5
CH	138.1	25.5	$\Sigma = 132.7$	CH	92.6	23.5	$\Sigma = 140.6$	$\Sigma = 136.6$
	544.6	100.0	MF = 1.33		395.1	100.0	MF = 1.41	MF = 1.37

MUESTRA 1

PERDIDA POR LAVADO

MUESTRA 2

- 544.6
511.8
 32.8 6.0 %

- 395.1
365.2
 29.9 7.5 %

PROFUNDIDAD: 3.90

MATERIA ORGANICA: Inferior al lfmite

DESPALME: 0.00

BANCO No 3

POZO No 3

PIEDRA GRANDE 9"

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 E N E P A R A G O N
 GRANULOMETRIA INTEGRAL
 C. H A G U A M I L P A
 TESIS PROFESIONAL
 EDUARDO MIRIAM RODRIGUEZ
 MEXICO, D.F. 1987 / Formo 231.

POZO Nº	DESPALME	PROF.	MATERIAL RETENIDO EN CADA UNA DE LAS MALLAS (%)								% MAT. DESPER- DICIO) 6"	% MAT. APROVE- CHABLE) 6"	% MATERIAL APROVECHABLE		
			6"	5"	4"	3"	2"	1 1/2"	3/4"	3/8"			Nº 4	GRAVA	ARENA
1	0.00	3.50		9.7	6.3	14.8	17.0	12.5	19.8	11.2	8.7	17.5	82.5	70.9	29.1
2	0.00	3.50		6.0	18.0	17.4	13.4	8.7	15.5	13.1	7.9	15.3	84.7	84.0	16.0
3	0.00	3.90		3.2	3.7	11.4	28.5	20.8	25.8	5.9	0.7	5.2	94.8	83.4	16.6

P R O M E D I O

	0.00	3.63		6.3	9.3	14.5	19.6	14.0	20.4	10.1	5.8	12.7	87.3	79.4	20.6

BANCON.3

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
E N E P A R A D O N	
RESUMEN GRANGULOMETRIA INTEGRAL	
C. H. A. GUAMILPA	
TESIS PROFESIONAL	
EDUARDO HIRIART RODRIGUEZ	
MEXICO, D.F. 1987	FORMA B.3.B.

<u>1195</u> m.	X	<u>80.62</u> m.	=	<u>96.373</u> m ² (SUPERFICIE)
<u>96.373</u> m ² (SUPERFICIE)	X	<u>3.63</u> m. (PROFUNDIDAD)	=	<u>349.834</u> m ³ (VOL. TOTAL)
<u>96.373</u> m ² (SUPERFICIE)	X	<u>0.00</u> m. (DESPALME)	=	<u>0.000</u> m ³ (VOL. DESPALME)
<u>349.834</u> m ³ (VOL. TOTAL)	-	<u>0.00</u> m ³ (VOL. DESPALME)	=	<u>349.834</u> m ³ (VOL. MATERIAL)
<u>349.834</u> m ³ (VOL. MATERIAL)	X	<u>12.7</u> % > 6"	=	<u>44.429</u> m ³ (DESPERDICIO) > 6"
<u>349.834</u> m ³ (VOL. MATERIAL)	-	<u>44.429</u> m ³ (DESPERDICIO)	=	<u>305.405</u> m ³ (MAT. APROVECHABLE)
<u>305.405</u> m ³ (MAT. APROVECHABLE)	X	<u>79.4</u> % GRAVA	=	<u>242.192</u> m ³ GRAVA
<u>305.405</u> m ³ (MAT. APROVECHABLE)	X	<u>20.6</u> % ARENA	=	<u>62.913</u> m ³ ARENA

BANCO No. 3

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 E. N. E. P. A. R. A. B. O. N.
 VOLUMEN APROXIMADO DE AGREGADOS
 PARA CONCRETO
 C. H. AGUILERA
 TESTIS PROFESIONAL
 EDUARDO MIRIART RODRIGUEZ
 MEXICO, D. F. 1967 Form 2. 3

En el caso de Aguamilpa se muestrearon seis bancos, cuya localización aproximada se indica en la fig. 2.5.1

Tomando como punto de referencia el eje de la - cortina, estos bancos quedaron comprendidos en un tramo de 11 km de desarrollo sobre el río Santiago, siendo 8 km , aguas abajo y 3 km aguas arriba de dicho eje.

Tomando en cuenta el desarrollo descrito anteriormente, observamos en la tabla 2.5.1, los datos característicos de los bancos muestreados.

En la tabla 2.5.2 se presentan los principales datos granulométricos de las muestras integrales de agregados obtenidos en los 21 pozos excavados y muestreados.

BANCO	DIST. APROX. EJE CORTINA	MARGEN	POZOS EXC.	PROF. (ni)	AREA (m ²)	VOLUMEN (m ³)
I	6 km. aguas aba.	Der.	2	3.50	172,127	602,445
II	4 km. aguas aba.	Der.	3	3.77	90,292	340,401
III	3 km. aguas aba.	Izq.	3	3.63	96,373	349,834
IV	8 km. aguas aba.	Izq.	5	3.62	88,678	321,014
VI	1 km. aguas arrib.	Izq.	3	3.83	50,905	194,966
VII	3 km. aguas arrib.	Der.	5	3.78	78,054	295,044

Volumen total representado en el muestreo = 2,103,704

RESUMEN DE CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS DE LOS POZOS HUESTRADOS

BANCO No.	POZO No.	ESPESOR DESPALME (m)	TAMAÑO MAX. OBSERVADO (pulg)	SOBRETAMAÑO MAYOR 6" (%)	GRAVA No. 4-6" (%)	ARENA MENOR No. 4 (%)	MODULO FINURA ARENA	LAVADO PASA No. 200 (%)	ARENA No. 200 (%)
I	1	0.00	12	0.0	41.4	58.6	2.88	3.0	
	2	0.00	13	20.9	58.3	20.8	2.37	4.8	
II	1	0.00	16	13.0	70.7	16.3	1.49	5.0	
	2	0.00	14	13.1	70.3	16.6	1.03	5.6	
	3	0.00	14	13.3	70.0	16.1	1.27	5.5	
III	1	0.00	16	17.5	58.5	24.0	2.99	5.4	
	2	0.00	19	15.2	71.1	13.6	2.99	12.9	
	3	0.00	9	5.2	79.1	15.7	1.37	6.8	
IV	1	0.00	14	8.2	70.4	21.4	2.67	2.7	
	2	0.00	9	2.6	48.5	48.9	2.79	3.3	
	3	0.00	14	4.6	61.9	33.5	2.58	2.8	
	4	0.00	14	4.5	44.5	51.0	2.24	3.6	
	5	0.00	17	8.0	54.2	37.8	2.84	3.5	
VI	1	0.20	12	1.0	41.7	56.5	2.90	4.3	
	2	0.45	12	5.1	69.0	25.9	3.13	2.0	
	3	0.40	9	10.1	70.5	19.4	2.92	2.0	
VII	1	0.30	14	6.4	72.2	21.4	2.60	4.9	
	2	0.40	13	22.5	58.9	18.6	3.53	6.4	
	3	0.20	12	16.4	58.9	24.7	3.10	8.4	
	4	0.50	9	7.7	75.9	16.4	1.77	5.0	
	5	0.50	14	3.8	77.9	18.3	1.47	9.2	
P R O H E D I O S				9.6	63.1	27.3	2.43	5.0	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 S. N. E. P. A. R. T. I. C. O. N.
 CARACTERÍSTICAS
 GRANULOMÉTRICAS
 TESIS PROFESIONAL
 EDUARDO HERRERA RODRIGUEZ
 MÉXICO, D.F. (1987) Tabla 2-3. E

En resumen se tiene:

Sobre tamaño mayor de 6" (triturable)	=	10%
Grava comprendida entre No. 4 y 6"	=	63%
Arena que pasa la malla No. 4	=	27%
Módulo de finura de la arena	=	2.43

Sólo nos queda relacionar estos porcentajes con la tabla 2.5.1 para saber el volumen de agregados aprovechables.

Considerando el uso de estos agregados para la producción de concreto masivo en tamaño de grava igual a - 150 mm (6"), se estima que las granulometrías y cantidades resultan adecuadas para los volúmenes requeridos y para la fabricación de concretos.

C A P I T U L O I I I

PRUEBAS DE LABORATORIO

El concreto se compone de cemento, agregados, - agua y en ocasiones aditivos. Cada componente merece ser estudiado en base a sus propiedades físicas, que nos permitirán juzgar su calidad.

3.1 Pruebas Físicas del cemento.

Para conocer la calidad del cemento se mencionan las siguientes pruebas de laboratorio.

3.1.1 Tiempo de fraguado y consistencia normal de la pasta de cemento.

3.1.2 Sanidad

3.1.3 Finura

3.1.4 Resistencia a compresión

Las especificaciones están contempladas por la norma ASTM, C-150 .

3.1.1 Tiempo de fraguado y consistencia normal de la pasta.

La prueba de tiempo de fraguado consiste en determinar el tiempo que tarda la pasta en endurecer; esta pasta contiene cierta cantidad de agua que da su manejabilidad óptima y permite comparar su comportamiento entre pastas.

La prueba que nos indica la parte proporcional de agua es la de consistencia normal, que se realiza por medio del aparato de Vicat; éste contiene en un extremo un

vástago de 10 mm de \varnothing y en el otro tiene una aguja de 1 mm².

Para la prueba de consistencia normal se usa el vástago de 10 mm de \varnothing , que debe penetrar en la pasta recién hecha hasta obtener lecturas entre 9 y 11 mm de profundidad, definiendo así la cantidad de agua para consistencia normal.

Una vez obtenida esa consistencia, inicia la determinación del tiempo de fraguado de la pasta; en esta prueba utilizamos la aguja de 1 mm², que al penetrar en la pasta 25 mm, nos indica el fraguado inicial; cuando marca una profundidad de cero o sea que no penetra, se presenta el fraguado final.

La norma de calidad del cemento especifica que el tiempo de fraguado inicial debe ser no menor que 45 min. para dar tiempo a que el cemento o concreto sea mezclado, -- transportado, colocado y acabado; y el fraguado final no -- mayor que 6:15 horas, para garantizar que el cemento o el concreto no retarse su endurecimiento

Consistencia normal

$$CN = \frac{Ap}{c} \times 100$$

Ap = Agua necesaria para alcanzar una penetración entre 9 y 11 mm

c = peso del cemento

3.1.2 Sanidad.- Una vez fraguada la pasta de cemento; no debe sufrir cambios volumétricos longitudinales ni transversales mayores que los especificados en la norma de calidad del cemento; en esta prueba solo se realiza la medición longitudinal.

Se fabrican unas barras de cemento puro con agua, de sección transversal cuadrada, con 25 mm de arista, y longitud calibrada de 250 mm, dejándose 24 horas en un -- cuarto de curado. Pasado ese tiempo se toma la longitud inicial por medio de un medidor de barras, luego se curan en aire húmedo por medio de un "autoclave" (hervidor de vapor a una presión de 21 kg/cm²) elevando la temperatura hasta 216° C durante una hora. Después de que las barras permanecieron en el autoclave una hora, se sacan y se dejan enfriar durante 3 horas; una vez frías se miden para determinar la diferentecia longitudinal.

Para que el cemento se considere sano, se especifica que la expansión máxima después de la prueba del -- autoclave no sea mayor que 0.80 %.

$$\% \text{ Expansión} = (M_f - M_i) \times 100/M_i$$

M_f: medida de la barra después de salir del autoclave.

M_i: medida de la barra antes de entrar al autoclave.

3.1.3 Finura

Para la fabricación del cemento existen varias etapas que no se tocarán en este trabajo, pero una de las últimas consiste en la mezcla de clinker * molido con yeso**

La molienda progresiva de la mezcla produce polvos de variable finura; mientras más fino es el polvo, mayor es la velocidad con que aumenta la resistencia.

Aunque no existen límites precisos, se considera que un cemento tiene finura adecuada cuando pasado el cemento por la malla No. 200 ($74 \mu m$) no retiene más del 20% de su peso, y también cuando al pasar el cemento por la malla No. 325 ($45 \mu m$), no retiene más del 10% de su peso.

* clinker = caliza y arcilla molidos finamente y calcinados en hornos industriales de altas temperaturas, logrando cenizas fundidas en conglomerados.

** yeso = se encuentra en depósitos naturales (regiones bajas, altamente erosionadas).

3.1.4 Resistencia del cemento

Esta prueba es determinante para calificar la calidad del cemento.

La manera experimental para obtener la resistencia del cemento, es por medio de la elaboración de cubos de 5 X 5 X 5 cm, fabricados con arena no deletérea (sílice de Ottawa), agua destilada y el cemento en prueba. Se elaboran 9 cubos para ensayarse a 3, 7 y 28 días, utilizando 3 cubos para cada edad de prueba; obtenidas las resistencias se comparan con la tabla indicada enseguida.

Resistencia mínima a la compresión		Cemento Tipo		
		I	II	Puzolánico
(kg/cm ²)	3 días	126	105	126
	7 días	197	175	196
	28 días	281	281	246

La determinación de las propiedades del cemento y su comparación con los valores especificados por las normas de calidad, permiten aceptar o rechazar este material para fabricar concreto.

3.2 PRUEBAS FISICAS DE LOS AGREGADOS

El hecho de observar y hacer un reconocimiento superficial de los agregados nos da una idea de su calidad, pero sin embargo desconocemos sus propiedades; gracias a la intervención de laboratorios de prueba, podemos determinar las características de los mismos.

Enseguida se mencionan algunas pruebas de laboratorio que nos determinan la calidad de los agregados:

3.2.1	Granulometría	ASTM C-136 y C 33
3.2.2	Densidad y absorción	ASTM C -127 y C 128
3.2.3	Humedad	ASTM C -566
3.2.4	Sanidad	ASTM C-88
3.2.5	Impurezas Orgánicas	ASTM C-40
3.2.6	Resistencia a la abrasión	ASTM C -535 y C 131
3.2.7	Peso volumétrico	ASTM C -29
3.2.8	Pérdida por lavado	ASTM C -117

3.2.1 COMPOSICION GRANULOMETRICA.- La composición granulométrica de un agregado es la característica que describe la distribución de tamaños de las partículas que lo constituyen. La separación del material es por medio de mallas con aberturas cuadradas y dimensiones establecidas.

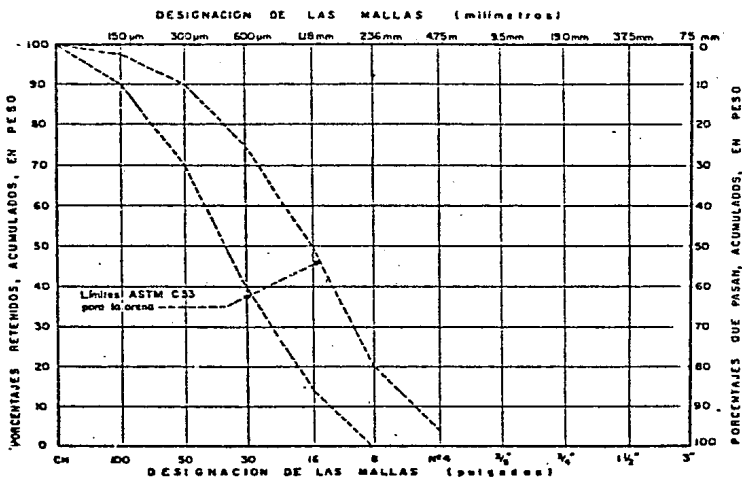
En la naturaleza generalmente se encuentran mezcladas la grava y la arena; para diferenciar una de otra se establece la definición de que la arena es aquel material que pasa la malla No. 4 (4.75 mm) y la grava es el retenido sobre la misma.

Agregado fino o arena.- Dependiendo del lugar donde se encuentre, existirá una variedad de tamaños que determinan sus características granulométricas. Para la fabricación de concretos es conveniente que la arena esté constituida por diversos tamaños; esto nos ayudará a que la mezcla sea trabajable, y a requerir menores consumos de cemento, por m^3 , para una resistencia dada.

En la siguiente tabla se muestran las mallas estándar requeridas para la separación de tamaños y los límites especificados que nos ayudan a juzgar si la arena es recomendable o no para la fabricación de concretos.

Tamaño de la malla	Porcentaje en peso	
No. de malla	separación (mm)	que pasa la malla
3/8	9.52	100
No. 4	4.75	95 - 100
No. 8	2.38	80 - 100
No. 16	1.19	50 - 85
No. 30	0.59	25 - 60
No. 50	0.30	10 - 30
No. 100	0.15	2 - 10

gráficamente los límites se expresan como sigue:



CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE AGREGADOS

OBRA. C. H. AGUILERA, S.A.

Conociendo los porcentajes de cada tamaño y sumando su porcentaje acumulado dividido entre 100, conocemos el MODULO DE FINURA; por ejemplo:

		Peso (g)	% parcial	% acum.	
Ret. malla No. 4		0.0	0.0	0.0	
" "	8	193.1	25.2	25.2	
" "	16	187.9	24.5	49.7	
" "	30	110.6	14.4	64.1	
" "	50	82.0	10.7	74.8	
" "	100	69.8	9.1	83.9	
Pasa "	100	123.8	16.1	100.0	*
SUMA		767.2	100.0	297.7	

* esta cantidad no se suma

Así, dividiendo el % acumulado + 100 obtenemos el módulo de finura, que es 2.98.

De acuerdo con el módulo de finura, las arenas pueden clasificarse como sigue:

<u>Módulo de finura</u>	<u>Clasificación</u>
Menor de 2.0	Muy fina
2.0 a 2.3	Fina
2.3 a 2.6	Media fina
2.6 a 2.9	Media
2.9 a 3.2	Media gruesa
3.2 a 3.5	Gruesa
Mayor de 3.5	Muy Gruesa

Para fabricación de concreto, se recomienda utilizar arenas que presentan módulos de finura entre 2.3 y 3.2 .

Agregado grueso o grava.- La granulometría de la grava también se determina separándola en fracciones, con el empleo de mallas. La variación granulométrica de la grava influye menos en las características del concreto, que las variaciones granulométricas de la arena, sin embargo se señalan los límites más usuales.

Los tamaños más usuales en la fabricación de concretos son de 1 1/2" y 3/4 " .

Los límites especificados son como sigue:

48

Tamaño de la malla

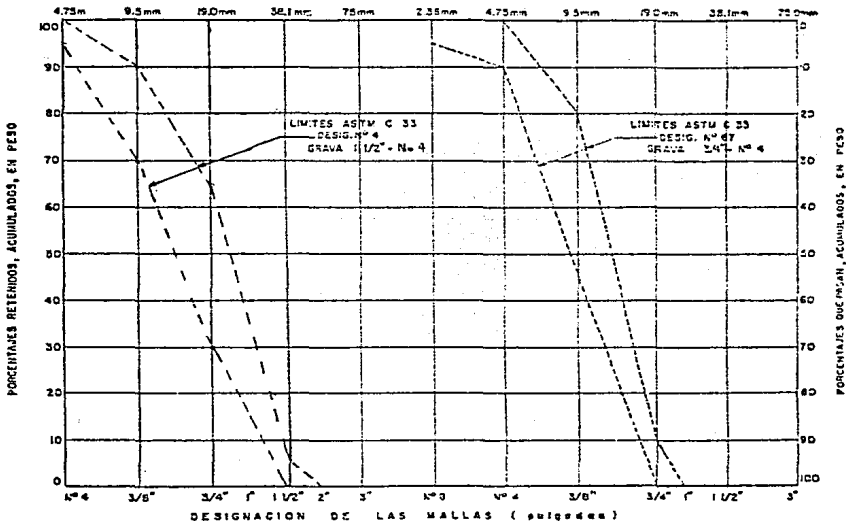
Porcentaje que pasa por las mallas tamaño nominal del agregado.

mm	pulg.	1 1/2" a No. 4	3/4" a No. 4
50.8	2	100	
38.1	1 1/2	95 - 100	
25.4	1		100
19.0	3/4	35 - 70	90 - 100
12.7	1/2		
9.5	3/8	10 - 30	20 - 55
4.8	No. 4	0 - 5	0 - 10
2.4	No. 8		0 - 5

Expresando los límites gráficamente:

ASTM C 33

DESIGNACION DE LAS MALLAS (milímetros)



CURVAS GRANULOMETRICAS DE AGREGADOS

OBRA _____

3.2.2 DENSIDAD Y ABSORCION.- La densidad es la relación entre el peso del agregado y el volumen que ocupa.

En general, la densidad de los agregados es un buen índice de su calidad.

A manera de información, se incluyen valores de densidades que son comunes en agregados que se utilizan en concretos para usos diversos. Normalmente las densidades - obtenidas son una mezcla de varias clases de rocas.

CLASE DE ROCA	DENSIDAD		APLICACION
Pómez	1.2	1.8	Concreto ligero
Escoria volcánica	1.6	2.2	
Caliza	2.3	2.8	
Arenisca	2.3	2.6	
Cuarzo	2.4	2.6	
Granito	2.4	2.7	Concreto Normal
Andesita	2.4	2.7	
Basalto	2.5	2.9	
Limonita	3.0	3.8	
Barita	4.0	4.5	
Magnetita	4.5	5.0	Concreto pesado

ABSORCION.- La capacidad de los diferentes agregados para absorber agua, depende del tamaño, continuidad y cantidad total de huecos que contenga.

Generalmente a mayor densidad se tendrá menor absorción. El agua de absorción corresponde a la que un agregado es capaz de absorber por inmersión durante 24 horas y eliminándole el agua superficial, o sea llevándolo a la -- condición de saturado y superficialmente seco (sss).

$$\% \text{ abs.} = (\text{Peso sss} - \text{Peso seco}) \times 100 / \text{Peso seco.}$$

3.2.3 HUMEDAD.- El contenido de humedad corresponde a la cantidad de agua que contiene el agregado en el momento en que va a utilizarse; es decir que el agregado -- se encuentre al ambiente, la humedad puede ser mayor o menor que la absorción. En el primer caso se dice que el -- agregado está sobresaturado y en el segundo cuando se encuentra subsaturado.

Cuando se hacen mezclas de concreto y el agregado está subsaturado, quiere decir que éste necesitará agua para que teóricamente quede en situación de saturado y -- superficialmente seco; en el caso contrario existirá un so brante de agua.

$$\% \text{ hum} = (\text{peso hum} - \text{peso seco}) \times 100 / \text{peso seco}$$

3.2.4 SANIDAD.- La sanidad de los agregados - define su aptitud para resistir y permanecer inalterables bajo condiciones de servicio que generan acciones destruc tivas promovidas por cambio de volumen en el concreto del cual forman parte.

Estas condiciones de servicio frecuentemente están representadas por efectos de períodos alternados de humedad y secado, variaciones extremas de la temperatura y hasta algunos casos por efectos de congelación y deshie lo.

Como todos estos efectos se relacionan con el medio ambiente que rodea al concreto, la prueba con que se mi de la sanidad de los agregados se denomina "prueba de intem perismo acelerado".

El método de prueba consiste en someter a los agre gados a períodos sucesivos de inmersión y secado, empleando una solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

El mecanismo de la prueba es el siguiente:

Durante los períodos de inmersión, la sal en solución penetra en los poros de los agregados; en los períodos de secado en, que aumenta la temperatura a 105° C, la sal se cristaliza y provoca un fenómeno de expansión interna en el agregado bajo prueba. Así, durante 5 ciclos como el des crito, las fuerzas internas tienden a desintegrar el mate rial.

La pérdida de peso ocasionada por la desintegración de partículas se cuantifica volviendo a cribar el agregado por la malla original, en el caso de arena; el material que pasa a través de las mallas respectivas se considera como pérdida. En el caso de las grava, las aberturas de las mallas por donde se criba el material ensayado son ligeramente menores que aquellas en las cuales se retenía el material antes de iniciar el ensaye.

Para fines de calidad de agregados, se establecen las siguientes pérdidas máximas admisibles después de cinco ciclos de inmersión y secado.

Solución Empleada	Pérdida Máxima %	
	Arena	Grava
Sulfato de Sodio	10	12
Sulfato de Magnesio	15	18

3.2.5 IMPUREZAS ORGANICAS.- Algunos tipos de materia orgánica que pueden causar interferencia en la hidratación normal del cemento son compuestos derivados de la descomposición de material vegetal; ésta puede estar presente más frecuentemente en la arena que en la grava, por lo que se ensaya únicamente la arena.

La prueba que se realiza es la llamada "colorimetría", donde la muestra de arena se agita en un frasco, conteniendo una solución de hidróxido de sodio al 3%, -- durante un minuto; después se deja reposar durante 24 -- horas, período al final del cual se juzgará el cambio en el color de la solución.

En el caso en que el color sea más claro que el color ámbar establecido en la norma de prueba, se da la arena por aceptada por contener poca cantidad de materia orgánica.

Si el color que adquiere la solución es más oscura que el color ámbar, quiere decir que no necesariamente tiene gran cantidad de materia orgánica, porque existen materiales que no contienen materia orgánica y pintan el agua. En este caso se procede a efectuar pruebas comparativas de resistencia de morteros con la arena en estudio y arena exenta de posible materia orgánica; si la resistencia de la arena en estudio es por lo menos el 95% de la resistencia obtenida de la arena lavada entonces la calidad de la arena se considera aceptable.

En general, para que una arena sea confiable para la producción de concretos, basta hacerle un lavado previo, quitando la mayoría de finos que contienen la materia orgánica.

3.2.6 RESISTENCIA A LA ABRASION.- La resistencia a la abrasión e impacto de la grava, se considera importante cuando el concreto estará expuesto a cualquier acción que produzca desgaste o erosión, ya sea de carácter mecánico o hidráulico.

El ensaye común para determinar la resistencia a la abrasión del agregado grueso, se efectúa en la máquina Los Angeles; esta máquina tiene bastante aplicación por la rapidez con que se realiza la prueba.

Dependiendo del tamaño de los agregados, se dá - cierto número de revoluciones o vueltas, conteniendo en el interior del cilindro el material con su número respectivo de esferas de acero; en el momento que gira el cilindro, se golpean los materiales contra las bolas de acero y las paredes del cilindro, efectuando el desgaste de los agregados.

Cuando recuperamos el material recién demolido, se criba en malla No. 12 (1.7 mm) y se lava para quitar el -- polvo adherido a los agregados; una vez lavado y cribado se seca al horno (110° ± 10° C) durante 24 horas. Enfriando el material se recriba por la misma malla y se pesa el rete nido.

Si la pérdida de material en la prueba es menor que 50%, el agregado se considera de calidad aceptable para la fabricación de concretos.

$$\% \text{ pérdida} = (\text{peso inicial seco} - \text{p.final seco}) \times 100 / \text{p.inicial seco}.$$

3.2.7 PESO VOLUMETRICO.- Sabemos que la densidad se refiere solamente al volumen de partículas individuales y por supuesto, no es físicamente posible empaacar estas partículas sin dejar huecos entre ellas. Cuando el agregado se maneja por volumen, es necesario, además, conocer el peso que llenaría un recipiente de volumen unitario.

Esto se conoce como peso volumétrico del agregado y este peso se usa para convertir cantidades en peso a cantidades en volumen y viceversa.

El peso volumétrico depende de hasta donde ha sido empacado el agregado; el peso volumétrico dependerá del tamaño, la distribución y la forma de las partículas del agregado.

Si el agregado se deposita suavemente sobre el recipiente de prueba, la existencia de huecos es mayor que si se compactara con una varilla; esto describe de manera sencilla dos tipos de peso volumétrico: suelto y compactado, respectivamente.

$$\text{Peso volumétrico} = \frac{\text{Peso del material seco} \times 1000}{\text{Vol. del recipiente}} \quad \left(\text{kg/m}^3 \right)$$

Pesos volumétricos varillados (PVV) y Pesos volumétricos sueltos (PVS) de materiales con densidades variables.

Material	Densidad	PVS	PVV
Pómez	1.5	829	975
Escoria volcánica	1.9	1050	1235
Caliza	2.6	1437	1690
Arenisca	2.5	1381	1625
Cuarzo	2.5	1381	1625
Granito	2.6	1437	1690
Andesita	2.6	1437	1690
Basalto	2.7	1492	1755
Limonita	3.4	1879	2210
Barita	4.3	2376	2795
Magnetita	4.7	2597	3055

Peso volumétrico expresado en kg/m^3

Normalmente los materiales se encuentran mezclados, logrando pesos volumétricos diversos.

3.2.8 Pérdida por Lavado.- Suelen encontrarse - diversos problemas, cuando existen arenas con gran canti-- dad de finos o polvos; como por ejemplo:

a) Las arenas con mucho polvo, provocan que su curva granulométrica salga de los límites recomendables, - forzándonos a mejorarla o a cambiar de banco.

b) Al tener un porcentaje considerable de polvo, obliga que las mezclas de concreto requieran un mayor consu mo de agua y, por lo tanto, demandan mayor cantidad de ce-- miento para alcanzar la resistencia buscada.

Tomando en cuenta que el polvo es indeseable para la fabricación de concreto, requerimos hacer un lavado pre- vio para evitar los problemas antes mencionados.

En el laboratorio se tiene un método de prueba - que consiste en ensayar aproximadamente de 500 a 700 gramos de arena seca (24 horas en el horno a 105-115°C). Una vez que se obtiene el peso seco de la muestra se comienza a - cribar por la malla No. 200 (75 μ m), auxiliándonos con agua.

La arena se agitará y permanecerá sobre la criba, hasta observar que el agua sea clara, teniendo cuidado de no perder partículas.

La arena limpia se pasa a una charola que entra-- rá al horno por 24 horas.

Concluido el proceso, se pesa la arena limpia y se calcula la diferencia respecto al peso de la muestra ori ginal; esta diferencia expresada en porciento, nos dá el -- porcentaje de pérdida.

$$PXL = (P_i - P_f) \times 100 / P_i$$

PXL= pérdida por lavado en %

P_i = peso inicial (arena contaminada)

P_f= peso final (arena limpia)

Cuando el porcentaje de pérdida resulta mayor al 3%, determinamos que no es aconsejable para la elaboración de concretos, al menos de ejercer un lavado, - previo para mejorar el porcentaje de pérdida.

3.3 Ejemplos: Después que se han explicado las diferentes pruebas de laboratorio, se observará en los siguientes ejemplos algunos resultados de pruebas físicas del cemento y de los agregados utilizados en la C.H. Aguamilpa.

- Forma 3.1 .- Pruebas físicas del cemento
- Forma 3.2 .- Pruebas físicas de la arena
- Forma 3.3 .- Pruebas físicas de la grava
- Forma 3.4 .- Composición granulométrica de agregados.
- Forma 3.5 .- Prueba de intemperismo acelerado
- Forma 3.6 .- Resistencia a la abrasión

PRUEBAS FISICAS

DE CEMENTO

IDENTIFICACION	Muestra N°.					
	Marca y Tipo		Tipo I	Tipo II	Puzolánico	
	Procedencia					
	Representativa de					
	Fecha de muestreo					
	Agua de consistencia normal (%)		25.2	26.2	23.4	
	Tiempo de fraguado (Gillmore)		Inicial (Hrs:min)	2:50	2:30	1:40
			Final (Hrs:min)	4:45	4:20	3:45
	Finura: Pasa malla N° 200 (%)			99.1	99.7	99.5
			Pasa malla N° 325 (%)	92.9	98.1	96.2
Sup. específico, Blaine (cm ² /gr.)						
Sanidad: Expansión autoclave (%)		0.10	0.08	0.06		
PRUEBAS FISICAS	Fraguado falso (Metodo: _____)	Penet. Inicial (mm)				
		Penet. 2-3-4 (mm)				
	_____	Penet. final (mm)				
		Porcentaje penet. final				
	Resistencia a compresión (Metodo: _____) (Kg/cm ²)	A 24 horas				
		A 3 días	260	270	170	
		A 7 días	256	316	209	
		A 28 días	399	401	292	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
E. N. E. P. A. H. A. G. O. N.

Pruebas físicas del cemento

TESIS PROFESIONAL
EDUARDO MIRIAM RODRIGUEZ
MEXICO, D.F. 1987 Formo 3-1

PRUEBAS FÍSICAS DE ARENA

Muestra No. _____ Descripción _____

Procedencia C. H. Acahuatlán Fecha de recibo _____

CONCEPTOS	PRUEBA 1			PRUEBA 2			PROMEDIO	
	Peso	%	Acum.	Peso	%	Acum.	%	Acum.
1) Análisis granulométrico:								
Retenido malla # 4								
Pasa por malla # 4								
Suma								
Retenido malla # 4								
" " " 8	193.1	25.2	25.2	192.1	25.2	25.2	25.4	25.2
" " " 16	187.9	24.5	49.7	184.9	24.3	49.5	24.1	47.6
" " " 30	110.6	14.4	64.1	111.4	14.6	64.1	14.5	64.1
" " " 50	82.8	10.7	74.8	79.4	10.4	74.5	10.5	74.6
" " " 100	69.8	9.1	83.9	68.2	9.0	81.5	9.1	83.7
Pasa	123.8	16.1	100.0	126.0	16.5	100.0	16.3	100.0
Suma	767.2	100.0	297.7	762.0	100.0	296.8	103.0	297.2
Módulo de finura			2.98			2.97		2.97
2) Densidad:								
	Psa	V	D	Psa	V	D		D
	500.0	199.9	2.50	503.0	205.0	2.48		2.49
3) Absorción:								
(Porcentaje)	Fs	Psa-Ps	Abx	Fs	Psa-Ps	Abx		Abx
	481.0	16.0	3.3	485.1	14.9	3.1		3.2
4) Pasa malla # 200 (lavado)								
(Porcentaje)	Ps	Ps	PxL	Ps	Ps	PxL		PxL
	767.2	696.3	10.0	762.0	683.6	10.4		10.2
5) Mat. orgánico (color):								
	Baja del límite con li. u arcilla							
6) P.V. seco y suelto								
(kg/m ³):	P	V	P.V	P	V	P.V		P.V
	1126	2785	1481	1122	2785	1480		1480.5
7) P.V. seco y consolidado								
(kg/m ³):	P	V	P.V	P	V	P.V		P.V
	4419	2785	1580	4422	2785	1587		1586.5

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
E. N. C. P. A. H. A. G. O. N.

Pruebas físicas de arena

TESIS PROFESIONAL
EDUARDO MIRIANT RODRIGUEZ
MÉXICO, D.F. 1987 Forma 3 2

PRUEBAS FISICAS DE GRAVA

Muestra No. _____ Descripción Grava del rio Santiago

Procedencia C.H. Aguamilpa, Nay. Fecha de recibo _____

CONCEPTOS	PRUEBA 1			PRUEBA 2			PROMEDIO	
	Peso	%	Acum.	Peso	%	Acum.	%	Acum.
1) Analisis granulométrico:								
Retenido malla # 4	1916.9	65.0	65.0					
Pasapor malla # 4	1033.0	35.0	103.0					
Suma	2949.9	100.0						
Retenido malla 152.4mm.								
" " 76.2 "								
" " 38.1 "								
" " 19.1 "	398.7	46.9	16.9					
" " 9.5 "	638.0	35.9	82.8					
" " # 4	330.2	17.2	103.0					
Suma	1916.9	100.0						
Modulo de finura								
2) Densidad:	Psa	V	D	Psa	V	D	D	
Grava <u>3/8"</u>	2523	1014	2.49	2528	1012	2.50	2.495	
Grava <u>3/4"</u>	3571	1409	2.53	3564	1409	2.53	2.530	
Grava <u>1 1/2"</u>	5659	2191	2.58	5524	2170	2.59	2.585	
3) Absorción (%):	Pa	Psa-Pa	Abs.	Pa	Psa-Pa	Abs.	Abs.	
Grava <u>3/8"</u>	2482	41	1.65	2486	42	1.69	1.670	
Grava <u>3/4"</u>	3512	59	1.68	3504	60	1.71	1.695	
Grava <u>1 1/2"</u>	5578	81	1.45	5543	81	1.46	1.455	
4) Peso volumétrico seco y suelto (kg./m. ³):	P	V	P.V.	P	V	P.V.	P.V.	
Grava	24.314	14.292	1701	24.514	14.292	1715	1708	
5) Peso volumétrico seco y compacto (kg./m. ³):	P	V	P.V.	P	V	P.V.	P.V.	
Grava	25.014	14.292	1750	25.115	14.292	1757	1753	

COMPOSICION GRANULOMETRICA DE AGREGADOS

Muestra N° _____

Procedencia: _____

C.H. Apamtlipa, Nay.

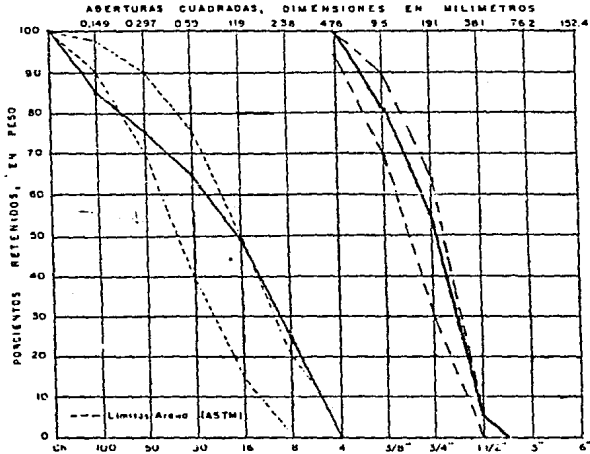
Descripción: _____

Fecha de recibo: _____

Fecha de repaete: _____

Observaciones: _____

CONCEPTOS	GRABA	
	% IND.	% AGUM
Ret. 4"		
= 5"	0.0	0.0
= 1/2"	5.8	15.8
= 3/8"	40.2	46.8
= 3/16"	77.6	80.6
= N°4	100.0	100.0
ARENA		
Ret. N°8	25.2	25.2
= N°16	21.4	19.0
= N°30	14.5	04.1
= N°50	10.5	14.0
= N°100	0.1	83.7
= Chetola	10.3	100.0
M F		2.97



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
E. N. E. P. A R A G O N

Granulometría de agregados

TESIS PROFESIONAL
EDUARDO MIRIART RODRIGUEZ
MEXICO, D.F. 1987 Formo: 3.4

PRUEBA DE SANIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO

AGREGADO FINO:

Muestra N° _____ Procedencia: C.H. Aguamilpa _____
 Descripción: Arena del rio Santiago _____
 Método: ASTM C-88 Solución: Sulfato de sodio Pérdida máx: 10.0 %

TAMAÑO	GRADUACION ORIGINAL	PESO INICIAL Gs.	PESO FINAL Gs.	PERDIDA POR TAMAÑOS		PERDIDA EN MUESTRA TOTAL %	FECHAS DE TERMINACION DE CICLOS
				Gs.	%		
Ret. N° 4							1°
Ret. N° 8	13.0	100.0	88.5	11.5	11.5	1.5	2°
Ret. N° 16	13.1	100.0	91.1	8.9	8.9	1.2	3°
Ret. N° 30	15.7	100.0	95.0	5.0	5.0	0.8	4°
Ret. N° 60	15.3	100.0	93.0	7.0	7.0	1.1	5°
Ret. N° 100	22.5						
Peso N° 100	20.4						
Sumas	100.0					4.6	5 Ciclos

AGREGADO GRUESO:

Muestra N° _____ Procedencia: C.H. Aguamilpa _____
 Descripción: Grava del rio Santiago _____
 Método: ASTM C-88 Solución: Sulfato de sodio Pérdida máx: 12.0 %

TAMAÑO	GRADUACION ORIGINAL	PESO INICIAL Gs.	PESO FINAL Gs.	PERDIDA POR TAMAÑOS		PERDIDA EN MUESTRA TOTAL %	FECHAS DE TERMINACION DE CICLOS
				Gs.	%		
1 1/2"	1"	46.6	1512	1360	152	10.0	4.66
1"	3/4"	20.8				10.0	2.08
3/4"	1/2"	13.4	1008	913	95	9.4	1.60
1/2"	3/8"	4.9				9.4	0.46
1/8"	No. 4	5.9					
No. 4	Cl.	8.4					
Sumas		100.0				8.00	5 Ciclos

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 E. N. E. P. A R A G O N

Intemperismo acelerado

TESIS PROFESIONAL
 EDUARDO HIRIART RODRIGUEZ
 MEXICO, D.F. 1987 Form. 3. 5.

RESISTENCIA A LA ABRASION DE AGREGADO GRUESO $\geq 3/4"$ ASTM C 535

Anexo No.: 2

Fecha 3 Noviembre, 1986 Descripción Roca socavón 1-c
 Muestra M-125-86 Procedencia C.H. Aguamilpa, Nay.
 Número de esferas utilizadas 12 ; peso total 4978 g
 Número de revoluciones: 1000

Malla		Peso de la muestra seco, gr
Pasa	Retiene	
3"	2 1/2"	
2 1/2"	2"	
2"	1 1/2"	5014
1 1/2"	1"	5011
1	3/4"	

(A) Peso total inicial: 10025

B Peso del material ensayado, retenido en malla No. 12, seco: 8236

(C) Perdida de peso = (A) - (B) = 1789

$$\% \text{ de pérdida} = \frac{(C)}{(A)} \times 100 = 17.8$$
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
E. N. E. P. AHAQUILPA

Resistencia a la abrasión

TESIS PROFESIONAL
EDUARDO MIRIAM RODRIGUEZ

MEXICO, D.F. 1987 Form. 3 6

3.4 PROPIEDADES DEL AGUA.- Casi cualquier agua natural que pueda beberse y que no tenga sabor u olor notable sirve para mezclar el concreto.

Puede usarse agua cuyo comportamiento no se conozca para hacer concreto, si los cubos de mortero hechos con esta agua alcanzan resistencias a los 28 días mayores que 90% de las obtenidas con los especímenes fabricados con -- agua destilada.

Además deben hacerse pruebas para asegurar que no se afecte desfavorablemente el tiempo de fraguado del cemento por las impurezas contenidas en el agua de mezcla. Cuando son excesivas las impurezas, pueden afectar no solamente el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino que pueden producir eflorescencia en el cemento o corrosión del acero de refuerzo.

Como una guía para la selección del agua de mezcla apropiada, se recomienda lo siguiente:.

a) Cuando se desee emplear agua de la cual no se tiene experiencia, es conveniente someterla a los ensayos antes citados; de preferencia, incluir análisis químico.

b) Las aguas potables de las ciudades son aceptables para su empleo en el concreto, salvo aquellos casos en que el contenido del cloro sea excesivo, debido a que promueve la corrosión del acero.

c) Las aguas negras y de desperdicios industriales en apariencia son perjudiciales. Las investigaciones han encontrado que no todas las aguas de este origen son -

negativas para el concreto. Lo importante es determinar la cantidad de contaminantes como son: materia orgánica, aceite, ácidos orgánicos e inorgánicos, materia en sus pensión, etc., que sí son perjudiciales. En cantidades pequeñas se han observado reducciones en la resistencia a la compresión a los 28 días del orden de 8 al 10%.

d) El agua de mar que contenga el 3.5% de sal, es generalmente buena como agua para mezclar concreto que no lleve refuerzo. Aunque el concreto hecho con aguas de mar puede endurecer con mayor rapidez que el concreto normal, - las resistencias en fechas posteriores (después de 28 días) pueden ser inferiores. Esta reducción de resistencia puede contrarrestarse reduciendo la relación agua-cemento.

Las estructuras de concreto reforzado hechas con agua de mar y expuestas al ambiente marino deben tener una relación agua-cemento máxima de 0.44 y el recubrimiento del refuerzo deberá ser cuando menos de 3 pulgadas.

e) Azúcar.- Pequeñas cantidades de azúcar, tan -- pequeñas como 0.03 a 0.15 por ciento en peso de cemento, -- usualmente retardan el fraguado del cemento. El límite superior de este intervalo varía con diferentes cementos. La resistencia a los 7 días puede reducirse, mientras que a 28 días puede mejorarse. Cuando se aumenta la cantidad de azúcar a 0.20 por ciento en peso, usualmente se acelera el fraguado.

Cantidades de azúcar de 0.25 por ciento o más en - peso del cemento pueden producir un rápido fraguado y una --

gran reducción en la resistencia a los 28 días.

Menos del 0.05% de azúcar en el agua de mezcla generalmente no tiene efecto adverso sobre la resistencia del concreto, pero si la concentración excede de esa cantidad, deberán hacerse pruebas para determinar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto.

3.5 ADITIVOS.- Los aditivos incluyen todos los materiales que no son cemento portland, agua y agregados, y que son añadidos al concreto, mortero o lechada, inmediamente antes o durante la mezcla.

En general, los aditivos pueden clasificarse como sigue:

- 3.5.1 Incluidores de aire
- 3.5.2 Reductores de agua
- 3.5.3 Retardadores de fraguado
- 3.5.4 Acelerantes de resistencia
- 3.5.5 Puzolanas

Pueden presentarse casos donde se requieran propiedades especiales en los concretos, como mayor tiempo de fraguado, rapidez en la adquisición de resistencia, mitigación de la expansión química con ciertos agregados o la reducción del calor de hidratación.

La eficacia de un aditivo depende de factores como el tipo y cantidad unitaria de cemento, forma y tipo de agregado, granulometría de los agregados y proporciones del concreto, tiempo de mezclado, revenimiento, temperaturas del concreto y del aire, etc

3.5.1 ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE.- Los aditivos inclusores de aire se usan para suplir deficiencias granulométricas -falta de finos- en la arena y para mejorar la durabilidad del concreto expuesto a la humedad durante ciclos de congelación y deshielo. El aire incluido mejora mucho la resistencia a la descamación superficial producida por los agentes anticongelantes. La menajabilidad del concreto fresco también mejora; la segregación y el exudado se reducen.

El concreto con inclusión de aire contiene diminutas burbujas de aire que se distribuyen uniformemente en toda la pasta de cemento. El aire incluido puede producirse en el concreto mediante el uso de cemento inclusor de aire, con un aditivo inclusor de aire, o con la combinación de ambos.

El cemento con inclusor se fabrica añadiendo y moliendo con el cemento portland un material durante el proceso de su manufactura. Los aditivos inclusores de aire de formulación química comercial, se añaden directamente a los materiales del concreto, ya sea antes o durante la mezcla.

3.5.2 ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA.- Los aditivos reductores de agua son sustancias que se usan con el objeto de reducir la cantidad de agua de mezcla necesaria para producir concreto de un cierto revenimiento.

Estas sustancias aumentan el revenimiento del - concreto para una proporción de agua dada.

Muchos aditivos reductores de agua pueden retarudar el tiempo de fraguado del concreto. Algunos se modifiucan para producir grados variables de retardo, mientras que otros no afectan apreciablemente el tiempo de fraguaudo. Algunos aditivos reductores de agua pueden incluir aire en el concreto.

Generalmente se obtienen aumentos de resistencia con los aditivos reductores de agua, al reducir la proporción de agua para mezcla dada, si la proporción de cemento y el revenimiento se mantienen constantes

3. 53 ADITIVOS RETARDADORES.- Estos aditivos retardan el tiempo de fraguado en el concreto. Las elevadas temperaturas del concreto fresco (30° C y mayores)-son con frecuencia la causa del aumento de la rapidez del endurecimiento que dificulta el colado y el acabado. Uno de los métodos más prácticos para contrarrestar este fenómeno consiste en bajar la temperatura de los agregados o bien de la mezcla.

En ocasiones los retardadores en el concreto se utilizan para disminuir el efecto acelerante de los climas cálidos en el fraguado del concreto o retrasar el fraguado inicial del concreto cuando se presentan condiciones anormales al colado, como en los colados de concreto masivo -- (espesor mínimo de la masa, mayor de 1.5 m)

La mayor parte de los retardadores funcionan también como reductores de agua, llamándoseles entonces "retardadores y reductores de agua."

3.5.4 ADITIVOS ACELERANTES.- Un aditivo acelerante es un material que se añade al concreto con el fin de reducir el tiempo de fraguado y acelerar el desarrollo temprano de resistencias del concreto.

Los aditivos acelerantes son útiles para modificar las propiedades del concreto hecho con cemento portland particularmente en climas fríos o para apresurar la iniciación del acabado; también para aumentar la velocidad de desarrollo de resistencia de tal manera que permite quitar la cimbra o poner la construcción en servicio más rápidamente.

El uso de este aditivo en climas fríos se recomienda para evitar los efectos de la baja temperatura

3.5.5 PUZOLANAS.- Las puzolanas son un material sílico - aluminoso, que por sí mismo posee poco o ningún valor cementante pero que, si está finamente dividido y en presencia de agua, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias - para formar compuestos cementantes. Varios materiales como la tierra de diatomeas, cuarzos amorfos, pizarras, tobas, pumicitas y ceniza volcánica se usan como puzolanas.

Se usan algunas veces los materiales puzolánicos en el concreto para ayudar a controlar las temperaturas internas, ya que su calor de hidratación es menor que el del cemento.

En las estructuras de gran masa como en las presas, pueden ocurrir altas temperaturas debidas a una lenta pérdida de calor generado durante la hidratación.

También se usan puzolanas para reducir o eliminar la expansión potencial de los agregados con afinidad alcalina.

El uso de puzolanas en sustitución del cemento puede retrasar considerablemente el desarrollo de la resistencia del concreto en los primeros 28 días. Debido a lo lento de la acción puzolánica deberá proporcionarse al concreto un prolongado curado húmedo y temperatura de curado favorable.

C Á P I T U L O I V

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

El diseño de una mezcla consiste en determinar la cantidad de materiales (cemento, agregados, agua y - eventualmente aditivos), que deben emplearse para el concreto, cuya calidad sea tal que satisfaga los requisitos especificados para la estructura a utilizar.

Si el diseño de mezcla es correcto, se obtendrán concretos con la resistencia deseada y durabilidad necesaria; para lograr estas características requerimos del control del concreto en obra, explicado posteriormente.

La durabilidad se define como la resistencia del concreto a la meteorización por el clima y la resistencia a las condiciones de exposición (en contacto con agua de mar, con suelos con alto contenido de sulfatos, etc.), -- para las cuales ha sido proyectado. Existen causas internas y externas que afectan su durabilidad:

Causas internas.-- Son la reacción álcali-agregado, cambios de volumen debidos a diferencias entre las -- propiedades térmicas del agregado y de la pasta del cemento; entre las características que más afectan internamente a la durabilidad del concreto es la permeabilidad, que -- mientras más protegido e impermeable se encuentre el concreto, este tendrá mejor durabilidad.

Causas externas.-- Estas causas se originan por efectos físicos, químicos o mecánicos y pueden ser también creados por condiciones atmosféricas, temperaturas extremas, abrasión, ataques por líquidos y gases de origen natural, -- etc.

El grado de deterioro dependerá de la calidad del concreto, aunque en condiciones extremas cualquier concreto mal protegido se daña.

Las propiedades más importantes del concreto tierno son la trabajabilidad, la segregación y la uniformidad.

Es una característica cualitativa de las mezclas de concreto, que permite describir la facilidad o dificultad para mezclar, transportar, colocar, compactar, y dar el acabado al concreto. La trabajabilidad del concreto, - por lo tanto, está asociada no solamente a la fluidez o consistencia propia de la mezcla, sino también al equipo que se utilizará para su fabricación, transporte, etc.

En general la fluidez de las mezclas está determinada por el revenimiento del concreto tierno.

Prueba de revenimiento.- La prueba de revenimiento, no mide directamente la trabajabilidad del concreto, pero es muy útil para juzgar la fluidez de la mezcla detectando las variaciones en la uniformidad de una mezcla de proporciones nominales determinadas. También permite juzgar la cohesión y el grado de consistencia de la mezcla; debe recordarse, sin embargo, que con diferentes agregados se puede registrar el mismo revenimiento para distintas trabajabilidades.

Segregación.- Es la separación de los constituyentes de una mezcla heterogénea, de modo que su distribución en la masa, deje de ser uniforme. En el caso del concreto, las diferencias en tamaño de las partículas y en la densidad de los componentes de la mezcla, son las causas principales de la segregación.

La tendencia a la segregación puede reducirse mediante la selección de granulometrías adecuadas de los agregados y diseñando adecuadamente los concretos.

Uniformidad.- En cualquier mezcladora es esencial que tenga lugar un intercambio suficiente de materiales en las distintas partes de la cámara, a fin de que se produzca uniformidad en el concreto; ésta debe preservarse durante el transporte del concreto al sitio del colado.

4.1 METODO ACI.- El American Concrete Institute publicó en el año de 1954, un método de dosificación de mezclas de concreto que desde esa fecha ha sido bien reconocido. En el año de 1974 se publicó su actualización, donde la aplicación incluye un nuevo criterio de dosificación y de corrección de las mezclas tentativas.

Para cualquier diseño de mezcla es necesario conocer las características o resultados de pruebas de laboratorio, de los agregados, cemento y agua.

La marca del cemento, normalmente está condicionada a la localización de la cementera mas cercana a la obra; el tipo se determina por medio de los requerimientos de la estructura por fabricar.

La calidad del agua para el concreto debe ser verificada en el laboratorio; para ello debe hacerse un análisis físico químico del agua y determinar su comportamiento (fraguado y resistencia a compresión). al mezclarla con cemento y arena.

De los agregados requerimos los resultados de las siguientes pruebas de laboratorio:

- a) Granulometría, incluyendo módulo de finura de la arena. Debe cumplir con la norma ASTM C-33
- b) Peso volumétrico compactado de la grava.
- c) Densidad del cemento
- d) Densidades y absorciones de los agregados.
- e) Contenido de humedad de los agregados en el momento de aplicarse.

Al efectuar el diseño de una mezcla, deben considerarse los siguientes lineamientos básicos:

Primer Paso: ELECCION DEL REVENIMIENTO

En la tabla 4.1 se proporcionan los valores -- adecuados para las diferentes estructuras o concretos por colar. Estos revenimientos son para mezclas compactadas por medio de vibradores.

Segundo Paso: ELECCION DEL TAMAÑO MAXIMO DE LA GRAVA.

Mientras más grande sea el tamaño máximo de la grava, menor será el consumo de agua, cemento y mortero por unidad de volumen del concreto. Al disminuir la can tidad de cemento se economiza, por lo que siempre se bus cará utilizar el mayor tamaño de agregado, que en ningún caso deberá ser mayor que:

- a) $1/5$ de la menor dimensión entre las pare-- des de la cimbra.
- b) $3/4$ del esparciamiento mínimo libre entre las varillas de refuerzo (incluyendo el re- cubrimiento).
- c) $1/3$ de las profundidades de las losas.

Tamaño máximo: Es el tamaño de la malla por la cual pasa gran cantidad del agregado; en la inmediata in ferior ya se retiene un porcentaje significativo de mate rial. Si hablamos de T.M. de $1 1/2''$ es que la mayor -- parte de la grava pasa por la malla $1 1/2''$ y luego un - porcentaje considerable es retenido en la malla de $3/4''$.

TABLA 4.1 REVENIMIENTOS RECOMENDABLES PARA
DIFERENTES TIPOS DE CONSTRUCCION.

Tipos de construcción	Revenimiento, cm.	
	Máximo	Mínimo
Muros y zapatas de cimentación de concreto reforzado.	8	2
Zapatas simples, cajones y muros de la subestructura.	8	2
Vigas y muros de concreto reforzado	10	2
Columnas	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto masivo *	5	2

* En las presas se utiliza en gran porcentaje el concreto masivo, siendo estructuras con ancho mínimo de 1.5 metros.

Tercer Paso: ESTIMACION DEL AGUA DE MEZCLADO
Y DEL CONTENIDO DE AIRE.

La cantidad de agua, por volumen, requerida para producir un revenimiento deseado depende del tamaño máximo de la grava, con o sin aire incluido, según observamos en la tabla 4.2

TABLA 4.2 REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES REVENIMIENTOS Y TAMAÑOS MAXIMOS DE LA GRAVA.

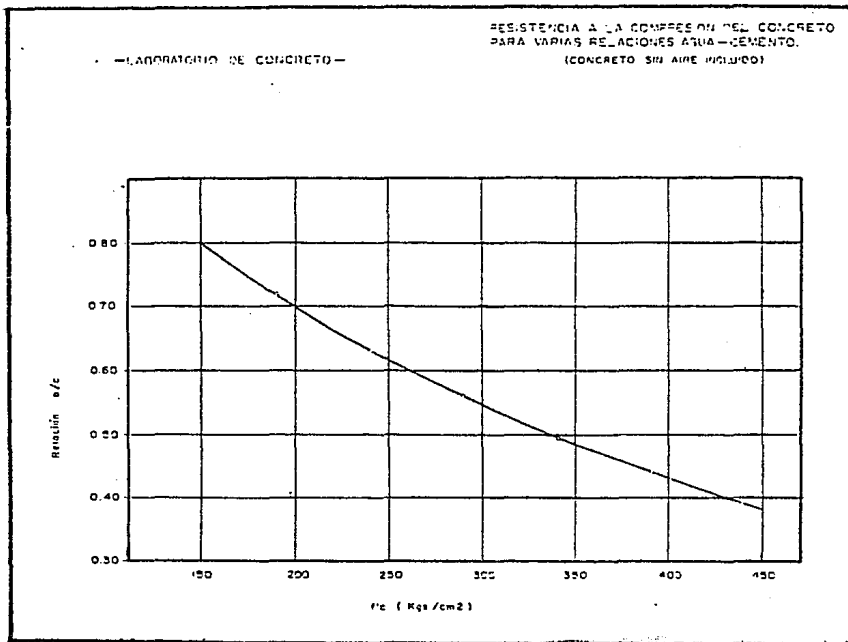
Revenimiento, cm	Agua en kg/m ³ de concreto para los tamaños máximos del agregado indicado.							
	10 mm	12.5 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	70 mm	150 mm
Concreto sin aire incluido								
3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	-
% aire atrapado.	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	--
Promedio recomendable de contenido total de aire, por ciento.	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Cuarto Paso: ELECCION DE LA RELACION AGUA-CEMENTO

La relación agua/cemento es lo que resulta de dividir la cantidad de agua de mezclado entre la cantidad de cemento en el concreto; ambas cantidades expresadas en kg/m^3

Mientras más alto es el número, más baja es la resistencia y viceversa, según se muestra en la fig. 4.1

Fig. 4.1: Relaciones agua/cemento con sus respectivas resistencias a compresión (kg/cm^2).



La tabla 4.3 representa valores aproximados donde relacionamos las resistencia a compresión del concreto, con las diferentes relaciones agua/cemento.

Las resistencias promedio que se escojan, deberán exceder la resistencia especificada por el ingeniero estructural, con el margen suficiente para mantener el número de ensayos bajos, dentro de los límites estadísticos especificados, por ejemplo, 10% ó 20% de resultados permisibles abajo de $f'c$.

Para los concretos expuestos a condiciones climáticas como el ataque de agua de mar, la relación agua cemento se deberá mantener aún más abajo que las requeridas. La tabla 4.4 proporciona los límites de estos valores.

Quinto Paso: CALCULO DEL CONTENIDO DEL CEMENTO

Del tercer y cuarto pasos se define la cantidad de cemento por unidad de volumen de concreto. El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado, dividido entre la relación agua-cemento.

$$\frac{A}{C} = 0.5 \qquad c = \frac{A}{0.5}$$

c= cemento

a= agua

0.5= relación agua/cemento

TABLA 4.3 CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACION AGUA/CEMENTO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO.

Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm ²	Relación agua/cemento, por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450	0.38	--
400	0.43	--
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

TABLA 4.4 RELACION AGUA/CEMENTO MAXIMA PERMISIBLE PARA CONCRETO EXPUESTO A CONDICIONES SEVERAS.

Tipo de estructura	Estructura continua o frecuentemente húmeda expuesta a congelaciones y deshielo.	Estructura expuesta al agua de mar o a sulfatos *
Secciones delgadas (rieles, bordillos, durmientes, etc.) y Secciones con menos de 3 cm de recubrimiento sobre el acero.	0.45	0.40
Todas las demás estructuras	0.50	0.45

* Sulfatos: Sales (SO_4) que pueden existir en suelos y agua, teniendo la propiedades de atacar al concreto y al acero de refuerzo, produciendo esfuerzos internos que -- tienden a destruirlos.

Sexto Paso: ESTIMACION DEL CONTENIDO DE
AGREGADO GRUESO.

La cantidad de grava que puede incluirse en una mezcla de concreto depende, basicamente de las granulometrías de la grava y de la arena; conviene que una mezcla de concreto tenga el mayor volumen de grava que sea posible, sin hacer gravoso al concreto y preservando la cohesión de la mezcla.

La tabla 4.5 proporciona valores que permiten estimar los volúmenes de agregado grueso. Estos valores se multiplican por el peso volumétrico compactado del agregado grueso y obtenemos el peso de grava por metro cúbico de concreto. Los valores se han escogido de relaciones empíricas, para proporcionar una manejabilidad adecuada para la construcción ordinaria de concreto reforzado. Para concretos bombeables estos valores se reducen en un 10% aproximadamente.

TABLA 4.5 VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO, POR
VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO.

Tamaño máximo del agregado		Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla *, por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena **			
		2.40	2.60	2.80	3.00
mm	Pulg.				
10	3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
12	1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2	0.76	0.74	0.72	0.70
50	2	0.78	0.76	0.74	0.72
70	2 3/4	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6	0.87	0.85	0.83	0.81

* Agregados secos y compactados con varilla (ASTM C-29)

** El módulo de finura de la arena es la suma acumulativa de los porcentajes individuales retenidos en tamices con aberturas de 0.149, 0.297, 0.595, 1.19, 2.38 y 4.76 mm.

Séptimo Paso: ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO.

Hasta el paso anterior, todos los ingredientes se han estimado, salvo el contenido de arena. Para conocer la cantidad de arena, uno de los métodos, el mas usado, es a través del cálculo de volúmenes absolutos de los ingredientes.

Este método trata de transformar los pesos obtenidos por metro cúbico, al volumen que ocupan y que dividiéndolos por sus pesos específicos correspondientes y sumando todos los volúmenes, incluyendo el volumen de aire atrapado, serestan del metro cúbico; la diferencia representa el volumen que debe ocupar la arena, que multiplicada por su peso específico, se determina el peso por metro cúbico de la misma en el concreto.

Octavo Paso: AJUSTES POR HUMEDAD Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS.

Generalmente los agregados que se encuentran a la intemperie contienen cierta cantidad de agua (humedad); si el agregado está sobresaturado le sobrará agua, que se le quitará al agua de mezclado; al contrario, si el material está subsaturado, se incrementará el agua de mezclado. Se trata de que los agregados se encuentren en estado saturado y superficialmente secos, para que no cedan, ni absorban el agua de mezclado. Se distinguen así dos tipos de agua en una mezcla de concreto: la de mezclado y la de absorción de los agregados.

En el laboratorio se elaboran mezclas de concreto, con volúmenes para producir 4 cilindros, donde cada uno de los cilindros se ensaya normalmente a 7 y 28 días. Se recomienda que antes de fabricar mezclas grandes, se hagan mezclas manuales (9 litros) para observar sus características con facilidad y sin desperdicio de materiales; las mezclas manuales permiten determinar, con cierta facilidad, el agua de mezclado y la proporción relativa grava/arena del concreto.

Noveno Paso: AJUSTES EN LAS MEZCLAS DE PRUEBA.

Normalmente cuando se llevan a cabo las mezclas de concreto, requieren que se les añadan ciertos ingredientes del concreto, para lograr las características buscadas inicialmente con los cálculos. Esto hace que las cantidades de agregados, cemento y agua por metro cúbico de concreto se modifiquen, requiriendo un ajuste final a las mezclas tentativas.

4.1.1 Ejemplo.- En el diseño de una mezcla requerimos las características de los agregados que se numeran como sigue:

1.- Módulo de finura del agregado fino	2.40
2.- Densidad del cemento (g/cm ³)	3.00
3.- Densidad del agregado fino (g/cm ³)	2.50
4.- Densidad del agregado grueso (g/cm ³)	2.58
5.- Absorción del agregado fino (%)	3.90
6.- Absorción del agregado grueso (%)	1.73
7.- Humedad del agregado fino (%)	1.40
8.- Humedad del agregado grueso (%)	0.45
9.- Peso volumétrico varillado y seco del agregado grueso (kg/m ³)	1740

Se conoce que las granulometrías de grava y arena cumplen con las especificaciones (ASTM C-33).

El concreto que diseñaremos será para una sección de una estructura sin armado excesivo y con dimensiones tales que no hay dificultad de acceso para efectuar el colado; - estará bajo el nivel del suelo en una ubicación en la que no estará expuesto a condiciones ambientales severas, ni al ataque de sulfatos. Las consideraciones estructurales exigen que tenga una resistencia a los 28 días de 300kg/cm^2 .

La dosificación se hace siguiendo los pasos anteriores:

PASO 1.- Por el tipo de estructura requerimos un revenimiento de 8 a 10 cm, según observamos en la tabla 4.1 . El cemento a utilizar será Cemento Guadalajara puzolánico.

PASO 2.- El tamaño máximo de agregado que se va a emplear es de 40 mm (1 1/2"), dado que el armado de acero así lo permite.

PASO 3.- Puesto que la estructura no estará expuesta a condiciones ambientales severas, se empleará sin aire incluido.

La cantidad aproximada de agua de mezclado, necesaria para producir de 8 a 10 cm de revenimiento y con agregado de 40 mm tiene un valor de 175 kg/m^3 , indicado en la tabla 4.2 .

El aire incluido estimado aparece con un valor de 1% .

PASO 4.- En la tabla 4.3 la relación agua - cemento necesaria para producir una resistencia de 300 kg/cm^2 en concreto sin aire incluido, es de 0.55.

PASO 5.- Basándonos en la información del tercer y cuarto paso concluimos que el contenido de cemento requerido es de $175/0.55 = 318 \text{ kg}$.

PASO 6.- La cantidad de agregado grueso se estima por medio de la tabla 4.5 . Con un módulo de finura

de 2.4 y para un tamaño máximo de agregado grueso de 40 mm, pueden emplearse 0.76 m^3 , que en peso es $0.76 \times 1740 = 1322 \text{ kg}$.

PASO 7.- Establecidas las cantidades de agua, cemento y agregado grueso en kg, el material restante -- que completa un metro cúbico de concreto debe consistir en arena, que se determinará por volumen absoluto, tomando en cuenta los pesos específicos del cemento, grava y arena para transformarlos en volumen.

	kg.	Densidad	
AGUA DE MEZCLA	175	1.00	= 175 lt.
CEMENTO	318	3.00	= 106 "
GRAVA	1322	2.58	= 512 "
AIRE ATRAPADO	0.01 x 1000		= 10 "
			<hr/>
TOTAL			803 "

Observamos que tenemos un volumen de 803 litros, por lo tanto, para obtener el agregado fino tenemos que:

$$\text{Arena} = 1000 - 803 = 197 \text{ lt.}$$

Transformando a kg obtenemos:

$$197 \times 2.50 = 493 \text{ kg.}$$

Obteniendo por peso que los ingredientes para una revoltura de 1m^3 , son:

Material	kg/m^3	Proporción unitaria
Cemento	318	1.00
Arena	493	1.55
Grava	1322	4.16
Agua	175	0.55
Suma	2308	

La mezcla de prueba estará calculada para fabricar 4 cilindros de concreto (15 X 30 cm), para ensayar se cada par a 7 y 28 días respectivamente. El volumen necesario es de 0.030 m^3 , que multiplicado por cada cantidad de los ingredientes nos determina las cantidades en kg próximos a pesarse según se observa.

Cemento	318	X	0.045	=	14.310	kg
Arena	493	X	0.045	=	22.185	"
Grava	1322	X	0.045	=	59.490	"
Agua	175	X	0.045	=	7.875	"

PASO 8.- Normalmente los agregados se encuentran en el ambiente en estado seco o húmedo, siendo necesario un ajuste de humedad y absorción para manejar los agregados en estado saturado y superficialmente seco (SSS), de forma que no requiera del agua de mezclado calculada en el paso anterior. Es imposible que el agregado absorba el agua necesaria en pocos minutos para llegar al estado (SSS), pero se trata, aún de esa manera, que no varíe la cantidad de agua de mezclado.

A continuación se determina el ajuste para establecer las cantidades corregidas listas para pesarse.

Materiales	Peso de los materiales kg	Corrección por humedad y absorción				Pesos Corregidos
		Humedad		Absorción		
		%	kg	%	kg	
Cemento	14.310					14.310
Arena	22.185	1.40	0.311	3.90	0.865	21.631
Grava	52.490	0.45	0.268	1.73	1.029	58.729
Agua de mezclado	7.875					7.875
SUMAS	103.86		0.579		1.894	
Agua de absorción = $1.894 - 0.579 = 1.315$						

PASO 9.- Al momento de efectuarse la revoltura se observó la necesidad de más agua, al no obtener el revenimiento buscado, agregando 400 cc ; para no variar -- nuestra relación agua/cemento o la resistencia, se proporcionó el cemento equivalente que fué de 727 g . También se notó la falta de agregado fino, por lo que, se adicionaron 3.0 kg, logrando una buena trabajabilidad y un revenimiento de 9.0 cm ; el peso volumétrico del concreto ~~tierno~~ resultó de 2310 kg/m³

Al modificar las cantidades de los ingredientes, variaron los consumos en kg/m³, obteniéndose el ~~el~~ ajuste final mostrado enseguida:

Materiales	C a n t i d a d e s		Densidad	Vol. absoluto lt.
	kg	Proporción unít.		
Cemento	15.037	1.00	3.00	5.012
Arena	25.185	1.67	2.50	10.074
Grava	59.490	3.96	2.58	23.058
Agua	8.275	0.55	1.00	8.275
SUMAS P=107.987			Vab = 46.419	lt

4.2 METODO PCA.- El método de diseño de mezclas de la Portland Cement Association está basado en el método de la ACI, con la diferencia de que es más práctico, al auxiliarse de la experiencia y la gran cantidad de mezclas realizadas en obra. En la obra se requiere un método que sea rápido, debido a los diferentes problemas que se presentan en los colados; las granulometrías de grava y arena, humedades, etc.

El método de la PCA, ha servido por su rapidez de cálculo, además de su confiabilidad al ser comparado con mezclas diseñadas con el método ACI.

El método de la PCA utiliza las mismas tablas que el ACI, a diferencia que no usamos la tabla 4.5 (Volumen de agregado grueso, por volumen unitario de concreto) donde se utiliza el módulo de finura; el porcentaje de grava se determina por la experiencia, basado en las características granulométricas de la grava y de la arena.

Los contenidos de los ingredientes de la mezcla se representan en lt./m^3 ; para conocer estas cantidades nos auxiliamos de fórmulas que facilitan el diseño.

Los ajustes de humedad y absorción, así como los ajustes de mezclas se realizan igual que el método ACI.

A continuación se hará un diseño de mezclas con este método para compararlo con el método del ACI; los datos son exactamente los mismos para ambos.

IDENTIFICACION.- Primero identificamos los ingredientes y anotamos su densidad.

MATERIAL	IDENTIFICACION	DENSIDAD
CEMENTO	Guadalajara puzolánico	3.00
GRAVA	Aguamilpa T.M= 1 1/2"	2.58
ARENA	Aguamilpa M.F= 2.4	2.50

PORCENTAJE DE GRAVA Y ARENA.- Después, damos el porcentaje estimado, tanto de grava y arena, así como de la grava

COMPOSICION GRANULOMETRICA											
Arena = 100%	<table style="border: none;"> <tr> <td style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td style="vertical-align: middle;">Arena 27%</td> <td rowspan="5" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="5" style="vertical-align: middle;">$\frac{P_g}{P_a} = 2.7$</td> </tr> <tr> <td>Arena = ----</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grava 3/8" = 13%</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle;">Grava 73%</td> </tr> <tr> <td>Grava 3/4" = 34%</td> </tr> <tr> <td>Grava 1 1/2" = 53%</td> </tr> </table>	}	Arena 27%	}	$\frac{P_g}{P_a} = 2.7$	Arena = ----		Grava 3/8" = 13%	Grava 73%	Grava 3/4" = 34%	Grava 1 1/2" = 53%
}		Arena 27%	}			$\frac{P_g}{P_a} = 2.7$					
Arena = ----											
Grava 3/8" = 13%		Grava 73%									
Grava 3/4" = 34%											
Grava 1 1/2" = 53%											
Arena = ----											
Grava 3/8" = 13%	Grava 73%										
Grava 3/4" = 34%											
Grava 1 1/2" = 53%											

De la relación grava/arena, obtenemos un factor que se utilizará para encontrar los volúmenes de los ingredientes del concreto.

VOLUMENES DE AGUA, AIRE Y CEMENTO.- Al igual que el ejemplo anterior, obtenemos la cantidad de cemento en kg/m^3 dividiendo la cantidad de agua entre la relación agua/ -- cemento. Dividiendo la cantidad de cemento entre su densidad obtenemos el volumen de cemento en $\text{lt.}/\text{m}^3$

$$175 \div 0.55 = 318 \text{ kg/m}^3$$

$$318 \div 3.0 = 106 \text{ lt./m}^3$$

Se tiene en la tabla 4.2, que el contenido de aire atrapado en por ciento es de uno, para tamaño máximo de 40 mm (1 1/2"); pasado a lt./m³ equivale a 10

Por medio de la suma de volúmenes en lt./m³, del agua, cemento y aire, encontraremos los volúmenes de grava y arena.

AGUA	175	lt./m ³
CEMENTO	106	"
AIRE	10	"
	<hr/>	
	291	lt./m ³

VOLUMEN DE AGREGADOS.- Del volumen total de un metro cúbico, quitamos el volumen de agua, cemento y aire, obteniendo el volumen de agregados.

$$V_{ag} = 1000 - 291 = 709 \text{ lt./m}^3$$

Hacemos una relación entre el volumen de grava y arena, siguiendo la siguiente fórmula:

$$\frac{V_g}{V_a} = \frac{P_g}{P_a} \times \frac{d_a}{d_g} = \frac{2.7 \times 2.50}{2.58} = 2.616$$

$$P_g = \text{porcentaje de grava} \quad \frac{V_g}{V_a} = 2.616$$

$$P_a = \text{porcentaje de arena}$$

$$d_a = \text{densidad de la arena}$$

$$d_g = \text{densidad de la grava}$$

$$V_g = \text{volumen de grava}$$

$$V_a = \text{volumen de arena}$$

De la relación de volúmenes de grava y arena

$\frac{V_g}{V_a} = 2.616$, pasamos a la siguiente fórmula, que nos determinará el volumen de agregado fino.

$$V_a = \frac{V_{ag}}{1 + \frac{V_g}{V_a}} = \frac{709}{1 + 2.616} = \frac{709}{3.616} = 196$$

V_{ag} = volumen de agregados $V_a = 196 \text{ lt. /m}^3$

V_a = volumen de arena

Solo nos queda restar el volumen de arena del volumen de agregados para conocer el volumen de grava.

$$V_g = 709 - 196 = 513$$

V_g = volumen de grava

$$V_g = 513 \text{ lt. /m}^3$$

Concluyendo, tenemos los volúmenes de cemento, agregados, agua y aire, que sumados deben dar un metro cúbico.

Cemento	106	lt. /m ³
Agua	175	"
Vacíos	10	"
Arena	196	"
Grava	513	"
Total	<hr/> 1000	lt. /m ³

Para obtener los volúmenes en kg/m^3 , solo multiplicamos las cantidades en $\text{lt.}/\text{m}^3$ por su densidad.

	$\text{lt.}/\text{m}^3$				kg/m^3
Cemento	106	X	3.00	=	318
Agua	175	X	1.00	=	175
Arena	196	X	2.50	=	490
Grava	513	X	2.58	=	1324
SUMA				=	<u>2307</u> kg/m^3

La suma en kg/m^3 , debe ser muy similar al peso volumétrico del concreto fierro.

CANTIDADES SATURADAS.- Al igual que en el ejemplo anterior, se calculará para un volumen de 45 litros. Así, multiplicando 0.045 m^3 por las cantidades en kg/m^3 , obtenemos las cantidades saturadas.

	kg/m^3		m^3		kg
Cemento	318	X	0.045	=	14.310
Agua	175	X	0.045	=	7.875
Arena	490	X	0.045	=	22.050
Grava	1324	X	0.045	=	59.580

La granulometría de la grava resultó de la siguiente manera:

grava	3/8"	=	13%
grava	3/4"	=	34%
grava	1 1/2"	=	53%

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION .- Para -
hacer la corrección, únicamente sumamos la humedad y res-
tamos la absorción de la cantidad en kg.

Proporción base	Cantidades	Humedad		Absorción		Cantidades corregidas
		%	Peso	%	Peso	
Cemento	14.310					14.310
Arena=100%	22.050	1.42	0.313	3.9	0.860	21.503
Grava 3/8"=13%	7.745	0.84	0.065	2.2	0.170	7.640
Grava 3/4"=34%	20.257	0.40	0.081	1.8	0.365	19.973
Grava 1 1/2"=53%	31.577	0.13	0.041	1.2	0.379	31.239
Agua	7.875		= 0.500		= 1.774	
Absorción = 1.774 - 0.500 = 1.274 lt						

AJUSTE DE LA MEZCLA.- En el ejemplo anterior
se agregaron 400 cc de agua, 727 g de cemento y 3 kg. de
arena. El peso volumétrico del concreto tierno fué igual
al anterior, es decir de 2310 g/cm³

Estas cantidades que se incrementaron, se suman a las cantidades saturadas, y se dividen entre su densidad, para determinar el volumen absoluto en litros, según se muestra.

Materiales	Cantidades		Densidad	Vol. absoluto lt.
	Kg	Unit.		
Cemento	15.037	1.00	3.00	5.012
Arena				
Arena	25.050	1.67	2.50	10.020
Grava	59.580	3.96	2.58	23.093
Agua	8.275	0.55	1.00	8.275
Sumas	P= 107.942			Vab=46.400

El volumen aparente es la división de (1000X P) entre el peso volumétrico del concreto fresco.

$$V \text{ aparente}(V_{ap}) = \frac{1000 P}{P.V.} = \frac{107942}{2310} = 46.728$$

Este volumen sólo nos indica lo que varió el volumen diseñado con el volumen ajustado.

Si dividimos el peso volumétrico del concreto fresco entre la suma de las cantidades (P), obtenemos una constante k, que multiplicada por las cantidades nos determinan los consumos reales.

$$K = \frac{P.V.}{P} = \frac{2310}{107,942} = 21.4$$

CONSUMOS REALES
kg/m³

CEMENTO	15.037	X	21.4	=	322
ARENA	25.050	X	"	=	536
GRAVA	59.580	X	"	=	1275
AGUA	8.275	X	"	=	177

CONSUMOS REALES

PROP. UNIT.

	Kg/m ³	
CEMENTO	322	1:00
ARENA	536	1:67
GRAVA	1275	3:96
AGUA	177	0:55

$$\text{Volumen aparente (Vap)} = \frac{1000 P}{P.V.} = \frac{107987}{2310} = \underline{46.748} \text{ Lt.}$$

Calculamos una constante K, dividiendo el peso volumétrico entre la suma del peso de los ingredientes..

$$\frac{2310}{107.987} = 21.392$$

Multiplicando k, por las cantidades en kg nos determinan los consumos reales en kg/m^3

MATERIALES	CONSUMOS REALES kg/m^3	PROPORCION UNITARIA
Cemento	322	1.00
Arena	539	1.67
Grava	1273	3.95
Agua	177	0.55
SUMA	2311	

La comprobación, para saber que el cálculo de la mezcla fue correcto, se hace comparando la suma de los consumos reales contra el peso volumétrico del concreto - tierro, respectivamente.

$$2311 \approx 2310 \text{ kg/m}^3$$

Haciendo una comparación de resultados, entre el método ACI y el método PCA, observamos que no existe una gran diferencia.

<u>METODO ACI</u>		<u>METODO PCA</u>	
CONSUMOS REALES kg/m ³		CONSUMOS REALES kg/m ³	
CEMENTO	322	CEMENTO	322
ARENA	539	ARENA	536
GRAVA	1273	GRAVA	1275
AGUA	177	AGUA	177
SUMA	2311	SUMA	2310

Si la suma de los consumos reales es igual o similar al peso volumétrico del concreto tierno, quiere decir que la mezcla está bien diseñada y calculada.

A continuación se muestra el procedimiento --
general del Método PCA.

CAPITULO V

CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO

5.1 CONTROL DE PRODUCCION DEL CONCRETO

5.1.1 Medidas de Prevención.- Existen precauciones que se deben tomar antes de elaborar concretos, a fin de que se eviten retrasos con la fabricación de los mismos. Las principales medidas de esta índole son:

- Comprobación de la eficiencia del equipo mezclador y determinación del tiempo mínimo de mezclado.
- Verificación de los equipos y dispositivos de dosificación.
- Conocer las condiciones en que se encuentran los agregados y correcciones correspondientes.
- Almacenamientos de los agregados y del cemento, evitando contaminaciones.
- Inspección de la condición y del funcionamiento del equipo para transportar el concreto.

5.1.2 Elaboración del concreto.- El concreto puede mezclarse en revolvedoras estacionarias o revolvedoras montadas sobre camiones; es importante vigilar el tiempo de mezclado para que los ingredientes se distribuyan hasta obtener revolturas homogéneas.

La introducción de los materiales dosificados a las mezcladoras se efectúa de manera que no se produzcan aglomerados, logrando revolturas mediante ensayos de efi-

ciencia. Antes de introducir el agua de mezclado, se requiere que el cemento y los agregados se encuentren lo mas revuelto posible, para asegurar una buena uniformidad.

Los ensayos de eficiencia se obtienen al juzgar la homogeneidad de la mezcla de concreto y se determina cuando en dos muestras de la misma revoltura, tomadas una al principio y otra al final de la descarga, cumplen que:

- a) El peso volumétrico de mortero exento de aire, en cada muestra, no difiera en más de 0.8 por ciento del valor promedio de ambas.
- b) La cantidad de agregado, en peso, retenido en la malla No. 4, en cada muestra, no difiera en más del 5 por ciento del valor -- promedio de ambas.

5.1.3 Tiempo de Mezclado.- El tiempo de mezclado se determina cuando la mezcla se encuentra uniforme y se conoce al comparardos muestras de concreto, tomadas del primero y del último tercio del volumen de la revoltura; la mezcla estará uniforme siempre y cuando cumpla con los siguientes requisitos:

E N S A Y E	DIFERENCIA PERMISIBLE	MAXIMA
Peso unitario del concreto calculado según NOM C-159 -----	20	kg/m ³
Contenido de aire en el concreto según NOM C-162	1.0	%
Revenimiento:		
Si el promedio está entre 3 y 5 cm -----	1.5	cm
Si el promedio es mayor que 5 pero menor que 10 cm -----	2.5	cm.
Si el promedio está arriba de 10 cm -----	3.5	cm.
Resistencia a la compresión promedio:		
a los 7 días, de cada muestra, basada en el promedio de resistencias de todos los especímenes comparativos ensayados.---	7.5	%

5.1.4 Temperatura del concreto.- Debido a la importante influencia de la temperatura del concreto en las propiedades del concreto fresco y endurecido, muchas especificaciones establecen límites en la temperatura del concreto fresco. Para la medición de la temperatura existen termómetros blindados; el termómetro deberá permanecer dentro del concreto fresco hasta que la lectura sea estable.

Para espesores menores a 0.8 m la temperatura máxima debe ser de 29° C , en espesores de concreto -- entre 0.8 a 1.5 m se especifica una temperatura máxima de 26.5 °C y en estructuras con ancho mayor a 1.5 m se aceptan temperaturas menores a 24° C por tratarse de concreto masivo.

5.1.5 Muestreo del concreto fresco.- Cuando se ha elaborado el concreto y revisado su uniformidad, procedemos al muestreo.

Los métodos para obtener muestras representativas de concreto fresco, tal como se entrega en el sitio de la obra, dependiendo si se trata de mezcladoras estacionarias o camiones mezcladores, son los siguientes:

Muestreo de mezcladoras estacionarias.- La muestra se obtiene interceptando 2 ó 3 veces el flujo completo en un recipiente (capacidad de 15 litros), aproximadamente a la mitad de la descarga de la olla, desviando el flujo completamente, de modo que descargue en el recipiente; con las submuestras se hace una sola mezcla, homogeneizándola con pala o cuchara.

Muestreo de olla de camión mezclador.- La muestra se toma en tres o más intervalos, interceptando todo el flujo de la descarga, teniendo la precaución de no tomarla antes del 15%, ni después del 85% de la misma.

El muestreo se hace pasando repetidamente el recipiente en la descarga, interceptándola totalmente cada vez, o desviando el flujo completamente de tal modo que descargue en el recipiente.

5.1.5.1 Prueba de revenimiento.- Esta prueba consiste en llenar un molde troncocónico (cono) con dimensiones establecidas en 3 capas, cada capa se compacta con una varilla que se introduce 25 ocasiones hasta la capa inferior más próxima, el cono se enrasa y se levanta en 5 segundos; la medida del revenimiento se efectúa midiendo desde la altura del cono, hasta el centro del círculo superior del concreto abatido.

5.1.5.2 Peso volumétrico del concreto fresco.- Un recipiente de volumen especificado, se llena en 3 capas, donde cada una es compactada con varilla 25 veces; se expulsa el aire atrapado golpeando con una maceta y después el recipiente se enrasa y se pesa; descontando el peso de la tara, obtenemos el peso del concreto, que dividido entre el volumen del recipiente nos determina el peso volumétrico del concreto fresco.

5.1.5.3 Contenido de aire.- El recipiente utilizado para obtener el peso volumétrico, sirve para determinar el contenido de aire; se coloca una tapa a presión, con su manómetro; por uno de los orificios se le agrega agua para desalojar el aire entre el concreto y la tapa; después a la cámara chica se le inyecta aire a presión hasta la marca especificada, se abre la válvula de aire para transmitir la presión a la cámara, donde está el concreto y el manómetro nos indica el contenido de aire en porcentaje.

5.1.5.4. Elaboración de especímenes.- Para determinar la resistencia a la compresión del concreto ,

se utilizan cilindros de 15 X 30 cm ; los especímenes se deben moldear o colar inmediatamente después de obtenida y remezclada la muestra; durante su fabricación -- deben evitarse impactos, golpes e inclinaciones del cilindro.

Los especímenes se deben fabricar en menos de 15 minutos, después de haberse vertido o entregada la muestra; si se cuenta con cuarto de curado, se requiere que los cilindros se almacenen allí por un período de 24 horas, pasado este tiempo se desmoldean y se mantienen en el cuarto de curado, que debe tener una humedad relativa mayor que 90% y una temperatura de $23 \pm 2^{\circ}$ C.

En la obra es difícil contar con un cuarto de curado, por lo que es conveniente efectuar el curado con agua a temperatura controlada, dejando un tirante de agua de una pulgada, por arriba del cilindro.

5.2 TRANSPORTE, COLOCACION Y COMPACTACION DEL CONCRETO.

5.2.1 Transporte del concreto.- Dependiendo del tipo de estructura a colar, podemos clasificar los concretos en tres clases principales.

a) Concreto de bajo revenimiento.- Este -- concreto se utiliza en estructura de carácter semi-masivo, con un revenimiento medio de 6 cm, y tamaño máximo de la grava igual a 38 mm (1 1/2").

b) Concreto de mediano revenimiento.- Es el concreto que no presenta dificultades especiales para su colocación, se utiliza en la mayoría de los colados de la obra. Su revenimiento medio especificado es de 9 cm y - puede consistir de tamaños máximos de grava de 3/4" ó -- 1 1/2"

c) Concreto bombeable.- Existen sitios de colado que son poco accesibles o bien que el volumen de concreto es de importancia y su colocación requiere de concretos fluidos pero homogéneos.

El revenimiento medio para estas mezclas es de - 12 cm y su tamaño máximo de grava puede ser igual a 19 cm (3/4") ó 38 mm (1 1/2").

En esta etapa conviene vigilar dos situaciones inconvenientes en el concreto, que son la segregación y el endurecimiento.

Si se obtiene una mezcla homogénea de la mezcladora, y se asegura que no se disgregue en la descarga, cualquier segregación que exista al llegar al lugar de colado tiene que ser atribuida a una transportación deficiente. Debe recordarse que a medida que las mezclas son más fluidas tienden a segregarse con el transporte.

El endurecimiento del concreto se atribuye a varias causas: fraguado falso del cemento, temperaturas altas en el concreto o del ambiente, protección inadecuada y tiempo de transporte excesivo.

El fraguado falso es una característica indeseable que se manifiesta como endurecimiento prematuro de la pasta de cemento pocos minutos después de mezclada.

Para evitar problemas de fraguado falso del concreto, se recomienda aumentar el tiempo de mezclado.

5.2.1.1 Requisitos durante el transporte del concreto.- En la etapa de transportación del concreto, desde la planta de dosificación y mezclado hasta el sitio de colado, se tienen 3 requisitos básicos.

- a) Se debe evitar la segregación y contaminación del concreto dentro de las ollas de los camiones.
- b) El medio de transporte debe tener la capacidad y rapidez adecuada para hacer llegar el concreto al sitio de colado lo más rápido posible, a fin de que el concreto no se segregue ni se endurezca.

c) Es indispensable adoptar medidas adecuadas para evitar que el concreto aumente excesivamente de temperatura, debiéndose tomar algunas precauciones.

- 1.- Las ollas de los camiones agitadores y transportadores deberán pintarse de color blanco u otro que refleje los rayos solares.
- 2.- Evitar lapsos prolongados entre el mezclado del concreto y su colocación en el sitio de colado, el tiempo permisible máximo es de 30 minutos.
- 3.- Las tuberías que conduzcan concreto deben mantenerse protegidas contra el calentamiento del sol y conservarse mojadas exteriormente durante el colado.

5.2.2 Colocación del concreto.- Es la operación de vaciar y distribuir el concreto dentro de las formas, evitando su segregación. Una vez colado el concreto se le debe compactar o consolidar por medio de vibración.

Se recomienda que el equipo de transporte entregue el concreto en el lugar más cercano a su posición final de la estructura en proceso de colado. Esto con el fin de evitar el movimiento del concreto en el área del colado, en donde frecuentemente por limitaciones de espacio se tienen que salvar desniveles en distancias cortas.

En lugares poco accesibles y lejanos se recomienda el uso de bachas con descargas de fondo, transportadas con grúas, malacates, plumas o cualquier sistema a base de cables. Para caídas verticales de concreto (hasta 3 m) podrán usarse embudos que se utilizan en el extremo de descarga de canalones, bandas transportadoras, tuberías de bombeo y en general en cualquier caso en que debe evitarse la caída libre de concreto desde alturas considerables.

La distribución del concreto debe hacerse por capas horizontales de 40 a 60 cm de espesor como máximo a fin de compactarlo adecuadamente y facilitar la expulsión de aire de la masa.

Si el concreto se deposita por medio de canalones, se recomienda que éste no tenga una altura de caída libre mayor que un metro.

Si el concreto se va a colocar por medio de bomba, debe bombearse antes un mortero, con el propósito de dar lubricación a las tuberías. El concreto que va a ser bombeado se recibe primero en una tolva que contiene una malla que recribará el concreto para evitar la entrada de grava indeseable.

El bombeo debe iniciarse a baja velocidad hasta que el concreto salga con regularidad por el extremo de descarga de la tubería; después el bombeo debe ser continuo y a velocidad normal.

5.2.3 Compactación del concreto.- Es el proceso mediante el cual el concreto ya colocado se somete a la acción de fuerzas que hacen de él una masa compacta, libre de cavidades, adoptando la geometría del molde que la confina.

Todo el concreto (excepto colado bajo agua), debe compactarse por medio de vibradores, ya sean -- equipos internos (de inmersión), externos (de forma) o de superficie (reglas vibratorias) según la estructura que se trate.

Los vibradores de inmersión deben tener una -- frecuencia mínima de 7000 r.p.m. accionados neumática, eléctricamente o por gasolina; los que mejor servicio -- ofrecen en la práctica son los neumáticos. La potencia de los vibradores debe estar acorde con la consistencia de la mezcla y tamaño máximo de agregado. El diámetro y número de los vibradores debe establecerse en función -- del tamaño del agregado y de las dimensiones de la es--- tructura.

5.3 ACABADO Y CURADO DEL CONCRETO

5.3.1 Acabado del concreto.- Cuando se ha vibrado el concreto, éste debe cumplir con cierta geometría y posteriormente satisfacer los requisitos de acabado superficial establecidos en las especificaciones.

Existen dos clases fundamentales de acabado: el que se obtiene a contraforma (superficies moldeadas) y el que se logra mediante operaciones posteriores al acomodo o vibrado (superficies libres).

Para superficies moldeadas existen concretos aparentes en los que el acabado es primordial y debe cuidarse el aspecto estético; y casos como las superficies donde no importa la rugosidad, pero que se requiere reparar al concreto, corrigiendo las depresiones mayores a 25 mm y rellenando las oquedades producidas por accesorios utilizados durante el colado.

Existen otras superficies que si especifican detalladamente el acabado, como es el caso de estructuras hidráulicas como por ejemplo: revestimiento de túneles, vertederos abiertos, etc.

Existen varios casos de acabados en superficies libres, donde se busca una geometría específica, además de una superficie uniforme y regular. Las herramientas utilizadas para lograr los acabados recomendados, varían desde usar reglas, llanas de maderas, llanas metálicas

licas, hasta maquinaria especial para revestir y producir acabados importantes.

5.3.2 Curado del concreto.- Este proceso consiste en mantener al concreto húmedo, para promover la hidratación continúa del cemento.

Existen varias razones importantes para curar el concreto, tales como:

a) Seguridad en la resistencia.- Las pruebas de laboratorio han demostrado que el concreto en ambiente seco puede dejar de aprovechar hasta el 50 % de su resistencia potencial, en comparación con un concreto curado en ambiente húmedo.

b) Mejoría de la durabilidad.- El concreto bien curado evita la formación de fisuras, reduciendo así la permeabilidad; además se logran estructuras con superficies más resistentes al desgaste y a la abrasión.

Debe disponerse de medios para la protección del concreto, contra la acción del secado por el viento y por el sol, hasta que el curado se haya completado; también debe protegerse contra el tránsito de personas o vehículos, hasta que haya alcanzado suficiente resistencia.

El tiempo de curado depende del tipo de cemento, del clima y del control de temperatura en el concreto; normalmente nos auxiliamos de termómetros que indican el aumento o descenso de la temperatura. Tenemos dos formas de curado que son:

a) Curado húmedo.- Es el curado del concreto por medio de agua vertida sobre la superficie horizontal o también una vez que se quita la cimbra, donde se trata de mantener toda la superficie continuamente húmeda; la aplicación puede ser por aspersión. Tanto el concreto -- masivo, semimasivo y estructural se curan de igual manera durante 7 días como mínimo.

b) Curado con membrana.- La membrana aplicada sobre la superficie del concreto, contiene componentes - (principalmente cera) que logran formar una película impermeable sobre la superficie del concreto. La aplicación de este producto conviene realizarlo por medio de asper-- sión, puesto que la capa de membrana es muy delgada (menor que 1 mm). Normalmente, las superficies verticales en estructuras de concreto son curadas con membrana.

5.4 REPARACIONES DEL CONCRETO

Dependiendo de las causas que originan el daño del concreto, podemos clasificar las reparaciones en dos tipos:

- a) Defectos de construcción y desperfectos ocasionados al retirar las formas.
- b) Reparación de daños causados al concreto durante el servicio.

a) En el primer caso se realizan reparaciones inmediatas al colado; este tipo de trabajo debe realizarse al momento de quitar las formas. Cuando existen cavidades de 5 cm o menos se puede utilizar mortero (arena con cemento); si se trata de cavidades que excedan a 10 cm, se utiliza concreto; cuando la reparación se hace en concreto con acero de refuerzo, se recorta al concreto hasta llegar atrás del acero de refuerzo, cubriendo posteriormente con concreto perfectamente.

b) La reparación de estructuras de concreto, dañadas al estar bajo condiciones de servicio puede ser relativamente sencilla, como retirar un poco de concreto cavado y hacer la reposición correspondiente o bien, y esto es más frecuente, ser un poco compleja y requerir de técnicas y equipo de reparación no sencillo, por ejemplo: demolición de grandes áreas dañadas en túneles vertedores; descubrimiento de acero de refuerzo oxidado y tratamiento del mismo con chorro de arena; utilización de concreto lanzado

neumáticamente; inspección y limpieza de agrietamientos, con el propósito de efectuar inyección de resinas epó-- xicas para restaurar la integridad de una estructura -- agrietada; demolición de una parte de estructura de con-- creto dañada por fuego y la utilización posterior de - aditivos que promuevan la adherencia entre superficie de concreto viejo escarificado y capa de reposición de con-- creto lanzado; remoción de selladores de concreto de mala calidad, limpieza de las juntas y colocación de nuevos - sellos, etc..

C A P I T U L O VI

VERIFICACION DE CALIDAD DEL CONCRETO

6.1 CONCRETO ENDURECIDO

6.1.1 Generalidades.- Hasta el capítulo anterior, tenemos al concreto en las etapas de colocación, compactación y curado; en obra se toman muestras de concreto para la fabricación de cilindros - (15 X 30 cm), que nos servirán de guía para conocer las resistencias que se alcanzan en las estructuras.

Conforme más edad alcanza el concreto, -- mayor resistencia obtiene, según observamos:

Edad	Resistencia media aprox.	Edad	Resistencia media aprox.
24 horas	29%	14 días	93%
3 días	50%	28 días	100%
7 días	75%	1 año	132%

El número de cilindros tomados por descarga de concreto, dependerá de las edades a las cuales -- queremos conocer las resistencias.

6.1.2 Resistencia promedio requerida.

La base de aceptación definitiva del concreto, en general, se tiene en base a su resistencia a compresión a los 28 días de edad.

Dependiendo del margen de seguridad de las obras, se admiten porcentajes de resistencias por debajo de la resistencia de proyecto ($f'c$); para tener una confiabilidad de resistencias se calcula el fcr , que involucra un mayor margen de seguridad respecto a $f'c$, esto es $fcr > f'c$.

En la C.H. Aguamilpa se admitió una probabilidad de 16% de valores por abajo de la resistencia de proyecto $f'c$, calculado enseguida.

$$fcr = f'c + t\sigma$$

Donde fcr = resistencia promedio a compresión para el diseño de las mezclas, - en kg/cm^2 .

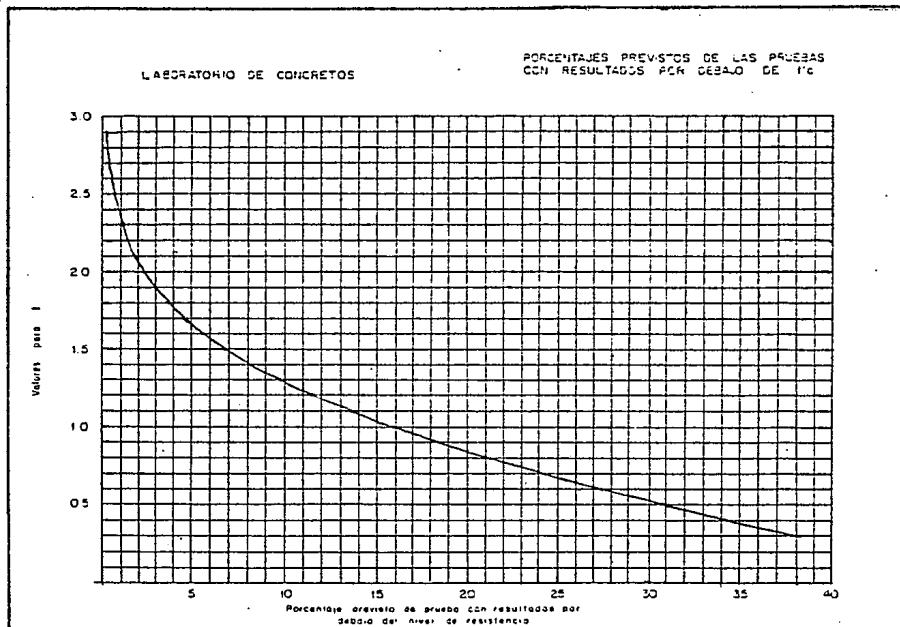
$f'c$ = resistencia de proyecto a 28 días (kg/cm^2)

σ = desviación estándar de las resistencias obtenidas a 28 días --- (kg/cm^2)

t = Variable que depende del porcentaje previsto de resultados inferiores a $f'c$.

En la fig. 6.1 se observa que el valor de t es de 1.0, dependiendo del porcentaje previsto de valores de resistencias mínimas abajo de la resistencia de proyecto.

Fig. 6.1 Porcentajes previstos de las pruebas con resultados por debajo de $f'c$.



Por lo que:

$$f_{cr} = f'c + \sigma$$

El valor de la desviación estándar también lo especifica la obra que en el caso de Aguamilpa -- por experiencia en obras de CFE, se fijó en 40 kg/cm².

Si la resistencia a los 28 días es de 200 - kg/cm², se determina que la f_{cr} es de 240, según el siguiente cálculo:

$$f_{cr} = f'c + t \sigma \quad ; \quad t = 1.0$$

$$f_{cr} = 200 + 40$$

$$f_{cr} = 240 \text{ kg/cm}^2$$

6.1.3 Variaciones de resistencias.- La magnitud de las variaciones en las resistencias de las - muestras de prueba de concreto, depende del adecuado control de los materiales, de la fabricación del concreto, de las pruebas del concreto en obra, etc.

Normalmente cuando existen diferencias importantes de resistencias dentro de las muestras de concreto, se deben a los cambios de consumo de agua de la mezcla por variaciones en la granulometría en la arena y la grava; a efectos en el transporte, colocación y compactación del concreto tierno, diferenciándose una descarga de otra, y a variaciones en la temperatura ambiente, así como el curado que suele no ser uniforme, - etc.

Una vez que el cemento se ha colocado en la estructura y endurece, no sabemos si realmente el diseño que hicimos fue correcto; para conocer la resistencia

del concreto en la estructura, necesitamos recurrir a pruebas de laboratorio que nos permitan conocer la resistencia potencial del concreto.

6.1.4 Pruebas no destructivas y destructivas del concreto.- Existen varias formas de estimar la resistencia del concreto, ya una vez endurecido; podemos auxiliarnos de pruebas que no dañen al concreto y de otras que ocasionan el deterioro del mismo.

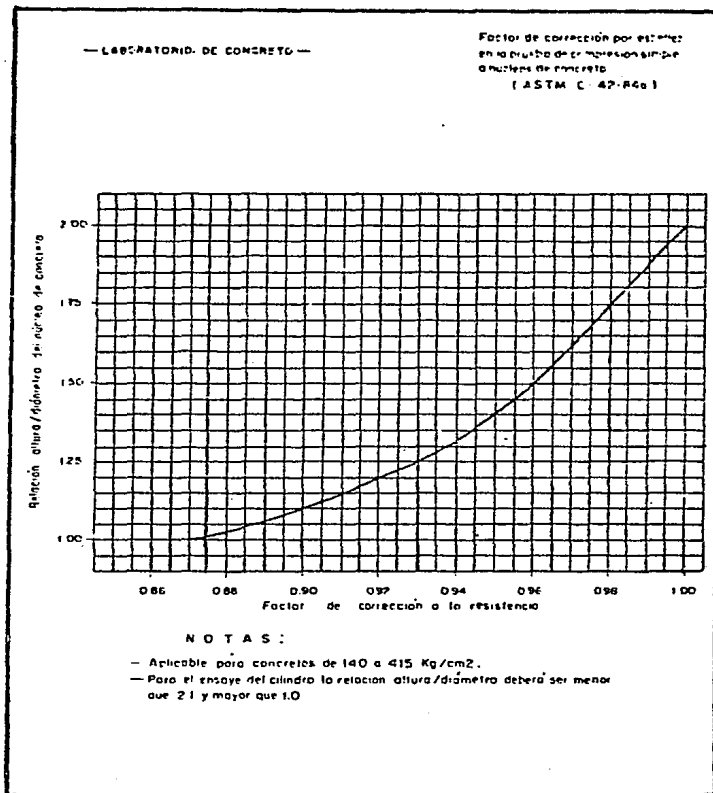
6.1.4.1 Pruebas destructivas.- Para fines prácticos, la resistencia mecánica del concreto se consigue bajo dos condiciones de carga: a tensión y a compresión. La prueba de tensión se determina por flexión en vigas o por compresión diametral en cilindros (prueba brasileña). La resistencia a compresión se determina en cilindros ensayados por compresión axial. Otra manera de determinar la resistencia del concreto en una estructura ya terminada, es a través de la extracción y ensaye de corazones.

Prueba a la compresión simple o axial.- El cilindro estándar tiene 15 cm de diámetro por 30 cm de altura; se somete a compresión presentando como área de contacto el diámetro del espécimen. El esfuerzo se determina al dividir la carga (en kg) de ruptura entre el área del cilindro (cm^2).

El hecho de tomar en cuenta la altura del --

especímen, depende de la relación de esbeltez del cilindro, que es la relación entre la altura y el diámetro - del especímen, según se ilustra en la fig. 6.2 .

Fig. 6.2 Relación de esbeltez, altura/diámetro



Para cilindros de 15 cm de ϕ por 30 cm de altura existe una relación de esbeltez de 2.0; observando la fig. 6.2, tenemos un factor de corrección igual a uno, por lo que los cilindros estándar no necesitan corrección alguna. En el caso de obtener valores diferentes a 2.0, sólo multiplicamos el factor de corrección por la resistencia en kg/cm^2 , el resultado así obtenido equivale a la resistencia que se habría obtenido en un cilindro del mismo concreto que hubiera tenido una relación altura/diámetro igual a 2.0 .

Prueba de flexión o tensión.- Los especímenes estándar utilizados en la prueba de compresión son usados en la prueba de tensión, que se realiza al ensayar cilindros de concreto colocados sobre la platina, acomodados longitudinalmente, es decir apoyados sobre su altura.

Si se aplica la carga a lo largo de su altura o generatriz, queda el cilindro sometido a un esfuerzo vertical de compresión de :

$$\frac{2P}{\pi LD} \left[\frac{D^2}{r(D-r)} - 1 \right]$$

y a un esfuerzo horizontal de tensión de :

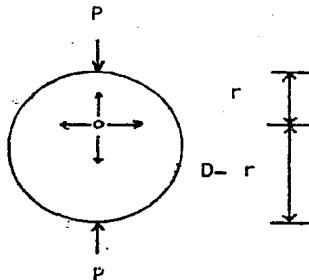
$$\frac{2P}{\pi LD}$$

P= Carga de compresión sobre el cilindro

L= Longitud del cilindro

D= Diámetro

r y (D- r) = Distancias del elemento de las dos cargas respectivamente



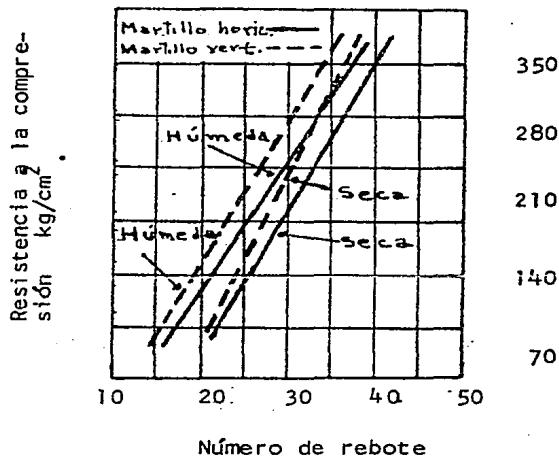
Extracción de corazones.- Para conocer la resistencia del concreto cuando está endurecida la estructura, se puede determinar por medio de la extracción de corazones o núcleos de concreto. La extracción de núcleos se efectúa al utilizar brocas de diámetros diversos con diamante industrial en sus bordes. Una vez que se han -- obtenido los núcleos, tomamos en cuenta sus dimensiones, ensayándose a compresión, teniendo la precaución de hacer un corte transversal y cabecearlos (colocación vertical del cilindro, donde la superficie del área del cilindro - se sumerja en azufre para obtener superficies planas, --- perpendiculares al eje del cilindro).

6.1.4.2 Pruebas no destructivas.- Para -- conocer aproximadamente la resistencia del concreto sin - dañarlo podemos enunciar las siguientes pruebas:

Prueba del martillo de rebote.- Esta prueba es también llamada prueba del martillo de impacto o del - esclerómetro.

La finalidad de este ensaye, es obtener la - resistencia del concreto por medio del número de rebote del esclerómetro sobre la superficie, según se muestra en la - fig. 6.3 . En general, esta curva de correlación debe obtenerse para cada concreto en particular. Si esto no fuera posible, la utilización del esclerómetro será sólo para juzgar la uniformidad del concreto, NO su resistencia. La combinación (esclerómetro + extracción y ensaye de núcleos de concreto) permite determinar la resistencia del concreto en la estructura.

Fig. 6.3 Relación entre la resistencia a la compresión de cilindros y el número de rebote, dependiendo si el martillo se encuentra en posición horizontal o vertical sobre una superficie de concreto húmeda o seca.



Aparte de la prueba del esclerómetro existen otros medios para darnos una idea de la resistencia, como son la prueba del pulso ultrasónico y la prueba de resistencia a la penetración.

6.2 ANALISIS ESTADISTICO DEL CONCRETO

Cuando se tomen muestras representativas de un colado, éstas deben tener un cierto control estadístico.

6.2.1 Análisis de los resultados de resistencias.- Para obtener el máximo de información, debe efectuarse una cantidad suficiente de pruebas, con lo cual se manifieste la variación de las resistencias; normalmente nos basamos en 30 o más pruebas (cada prueba significa 2 cilindros en ensaye).

6.2.2 Funciones estadísticas.- Promedio o media aritmética (\bar{X}), en donde la media es el promedio de los cilindros en prueba:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

donde $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ son las resistencias de dos especímenes individuales y n es el número total de parejas de cilindros ensayados.

Desviación estándar (σ).- La medida más usual de dispersión de los resultados, respecto al promedio, es la raíz cuadrada del promedio de la suma de los cuadrados de las desviaciones de las resistencias respecto a la resistencia promedio, es decir:

$$\sigma = \left[\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n - 1} \right]^{1/2}$$

Coeficiente de variación (v) .- Esta relación se obtiene al dividir la desviación estándar (σ) entre el promedio (\bar{x}) representando en por ciento.

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100$$

Intervalo (R) .- Es la diferencia entre las resistencias de dos especímenes.

Intervalo (\bar{R}) .- Es la suma de las diferencias entre cada dos especímenes, sumados y divididos entre el número de pruebas (2 cilindros c/prueba) .

$$\bar{R} = \frac{ER}{n}$$

A manera de ejemplo se presenta en la forma 6.1 el siguiente análisis estadístico de la cimentación del vertedor en la C.H. Aguamilpa.

Las resistencias obtenidas en promedio, se pueden graficar conforme al número de ensayos correspondientes, según se muestra en la forma 6.2

ANALISIS ESTADISTICO DE RESISTENCIAS

LABORATORIO DE CONCRETOS

Calculó

Revisó

Planta Forma

Estructura: VEREDOR

$f_c = 300$ Kg/cm²

Cto. Marca: CRUZ AZUL Tipo: P. 2. Cto./M3: 280 Kg.

Periodo del 19-07-86 al 25-10-86 Nº de grupo 6

Edad: 28 Dias. q/c : 0.57 Aditivo/M3: 400 Lts.

(1). Cálculos globales

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{9374}{30}$$

$$\bar{X} = 312 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$\sigma = 22.72 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 = \frac{22.72}{312} \times 100$$

$$V = 7.28 \%$$

Resist. prom. requerida:

$$R = 100 \cdot (1 + 1.0)$$

$$R = f_c + 10\sigma = 300 + (1.0 \times 40)$$

$$R = 340 \text{ Kg/cm}^2$$

(2). Cálculos muestrales, a lo probado.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{137}{5}$$

$$\bar{X} = 27.4 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma = 0.3665 \cdot R = 0.3665 \times 4.57$$

$$\sigma = 1.66 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 = \frac{1.66}{27.4} \times 100$$

$$V = 6.04 \%$$

Resist. real obtenida:

$$R = 50 \leq R_c \cdot (1 + 0.62)$$

$$R_c = f_c + 10\sigma$$

$$R_c = 300 + (0.62 \times 22.72)$$

$$R_c = 314 \text{ Kg/cm}^2$$

Nº	Fecha	Cot	Volúmen		Cilindros		X _i	(X _i - \bar{X}) ²	R
			1	2	1	2			
151	19-07-85	543	25.201	293	294	294	324	1	
152	22-07-85	546	177.634	301	299	300	144	2	
153	24-07-85	547	60.134	308	307	308	16	1	
154	27-07-85	554	260.250	309	312	311	16	3	
155	"	"	"	313	323	323	121	-	
156	30-07-85	556	166.422	295	295	295	289	-	
157	02-08-85	558	146.660	308	310	309	9	2	
158	06-08-85	"	186.370	296	293	295	289	3	
159	09-08-85	564	302.030	302	300	301	121	2	
160	10-08-85	565	179.250	303	300	302	100	3	
161	14-08-85	566	42.750	270	280	275	1369	10	
162	14-08-85	567	312.530	293	288	291	441	5	
163	20-08-85	569	304.280	334	337	336	576	1	
164	22-08-85	573	316.280	352	352	352	1600	-	
165	24-08-85	574	314.530	311	314	313	1	1	
166	"	"	"	303	313	308	16	10	
167	29-08-85	576	301.280	282	277	280	1024	5	
168	03-09-85	583	282.380	301	299	300	144	2	
169	04-09-85	587	312.960	306	302	304	64	4	
170	07-09-85	589	246.280	296	294	296	256	1	
171	12-09-85	593	182.609	290	302	296	256	12	
172	14-09-85	595	194.240	330	334	332	400	4	
173	20-09-85	599	192.980	318	313	316	16	5	
174	24-09-85	602	172.960	314	315	315	9	1	
175	25-09-85	603	195.120	318	315	317	25	3	
176	30-10-85	614	159.990	359	352	356	1936	7	
177	09-10-85	618	120.120	396	360	378	4356	16	
178	24-10-85	629	302.430	334	340	337	625	6	
179	24-10-85	629	"	332	329	331	361	1	
180	25-10-85	630	27.000	302	303	303	81	1	
Suma			5,398.56			9,374	14,970	137	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
C. N. E. P. A. R. A. B. O. N.

Control estadístico

TESIS PROFESIONAL

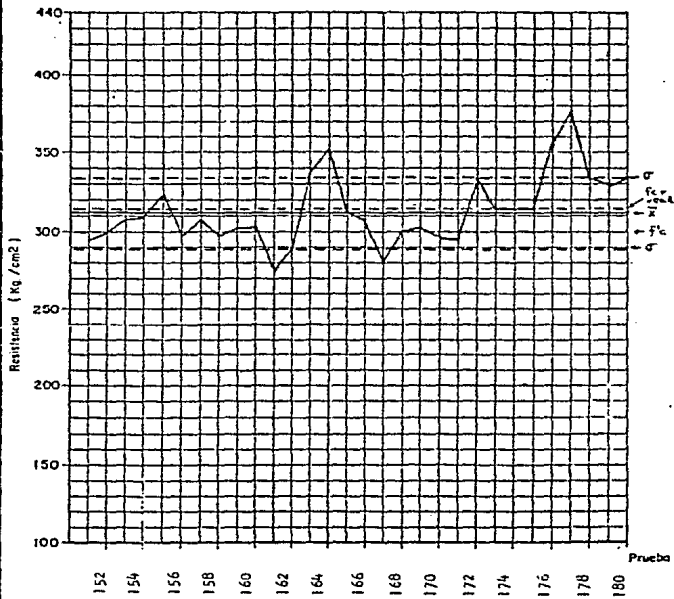
EDUARDO MIRIAM RODRIGUEZ

MEXICO, 26/08/87 Forma: 6.1

LABORATORIO DE CONCRETOS

GRAFICA DE RESISTENCIAS
DEL CONCRETO

Frente: VERTEADOR Planta Forma Edad: 28 Días
 $f_c = 3000$ Kg./cm² $f_{cr} = 340$ Kg./M² Del ensayo: 151 al 180



CARTA DE CONTROL

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
E. N. E. P. ARAQUON
Gráfica de resistencias
TESIS PROFESIONAL
EDUARDO MIRIART RODRIGUEZ
MEXICO, D.F. 1987 Formo: 6.2

6.3 CARTAS DE CONTROL

A fin de controlar la calidad de los concretos, es necesario establecer sistemas de control rápidos, oportunos y confiables.

Con este propósito han sido creadas las Cartas de Control cuya esencia radica en el análisis del concreto tierno vaciado o colocado dentro de las formas, en el control de todos los materiales que intervienen y en el curado del concreto.

A continuación se presentan algunas de las cartas de control más usuales; otra carta de control es también la forma 6.2 .

Forma 6.3 .- Módulo de finura de la arena

Forma 6.4 .- Sustancias deletéreas en la arena.

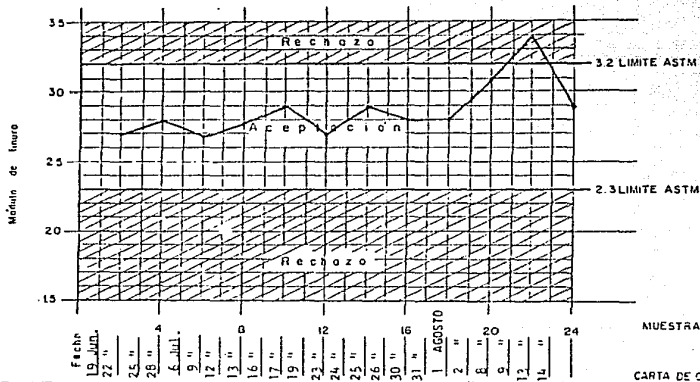
Forma 6.5 .- Contaminación en la producción de agregados.

Forma 6.6 .- Períodos del curado del concreto

LABORATORIO DE CONCRETOS

— MÓDULO DE FINURA DE LA ARENIA —

Cia.: MCCSA Período: del 19-VI-86 al 14-VIII-86



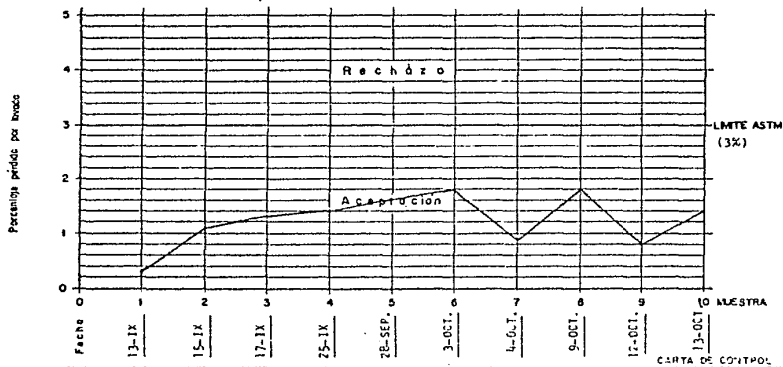
CARTA DE CONTROL

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
E. N. E. P. A R A G Ó N	
Módulo de finura de la arena	
TESIS PROFESIONAL	
EDUARDO MIRIART RODRIGUEZ	
MEXICO, D.F. 1987	Forma : 6.3

LABORATORIO DE CONCRETOS

SUSTANCIAS DELETEREAS EN LA ARENA
(PERDIDA POR LAVADO)

Cia.: MCCSA Período: del 13 SEP. 86 al 13 OCT. 86



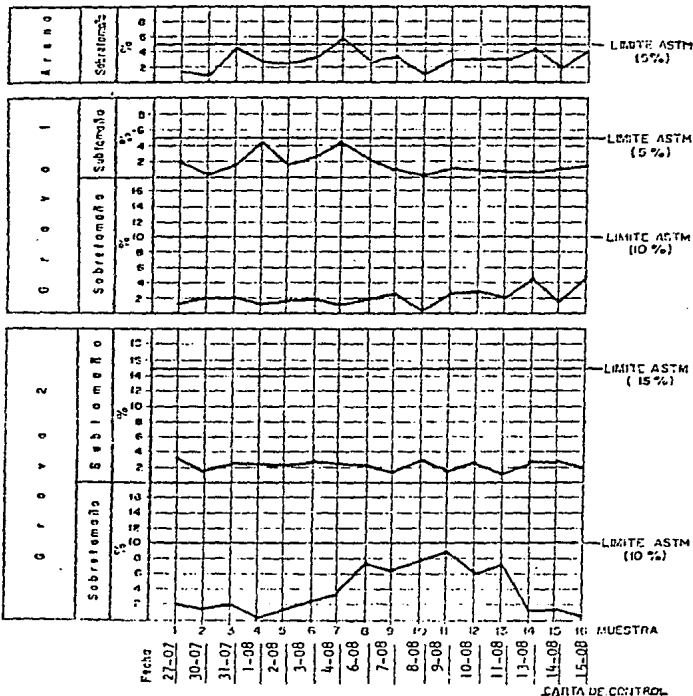
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
E. N. E. P. A N A G O P I

Pérdida por lavado

TESIS PROFESIONAL
EDUARDO HIRIANT RODRIGUEZ

MEXICO, 071987 Form. 8.4

Cia. ITEMSA periodo del 27-07-86 al 5-08-86



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 E. N. E. P. ARAGON
 Contaminacion de agregados
 TESIS PROFESIONAL
 EDUARDO MIRIART RODRIGUEZ
 MEXICO, D.F. 1987 Forma: S. 5

CONCLUSIONES

Dentro del contenido de este estudio, se puede observar que se trata de explicar el desarrollo general para lograr concretos resistentes y durables, a la vez de obtener economía.

La finalidad del trabajo es que sirva como guía para tener una seguridad del control de calidad del concreto en obras de importancia, así como en construcciones de poco volumen.

Al estudiar los componentes del concreto, - desde su obtención hasta su utilización, pasando por -- cada prueba de laboratorio, nos indica su calidad y nos refiere si es conveniente para la fabricación de concreto.

Para asegurar un buen diseño de mezclas, re-- querimos de la experiencia; siguiendo los pasos de este - trabajo, lo más seguro es que desmostraremos la necesidad de hacer un sinúmero de mezclas para obtener revóluturas - homogéneas, trabajables y cohesivas; se aconseja que para lograr la resistencia deseada se trate de no cambiar la - relación agua/cemento de diseño.

En el laboratorio se cuenta con todo el equipo necesario para facilitar la fabricación de concretos con características óptimas, que servirán como apoyo para la - realización de volúmenes mayores en la obra.

El uso de aditivos es común en las obras, debido a los diferentes climas de México, a problemas de colocación, tiempos de transporte y bombeo de concreto, etc.

La C.H. Aguamilpa se encuentra en la etapa de inicio; los resultados descritos son reales, algunos son obtenidos en el laboratorio y otros en la obra, como es el caso de las cartas de control.

B I B L I O G R A F I A

- 1) Estudios de prefactibilidad para la C.H. Aguamilpa, Nay., Comisión Federal de Electricidad, 1981
- 2) Manual de concreto, parte III, Srfa. de Recursos Hidráulicos, 1970 .
- 3) Normas A.S.T.M. para cemento y concreto .
- 4) Tecnología del concreto, tomos I y II A.M. Neville, Nueva Serie IMCYC, 1977 .
- 5) Proyecto y control de mezclas de concreto Portland Cement Association, 1978 .
- 6) Prácticas recomendables para dosificar concretos de peso normal, (ACI 211.1-70). Nueva Serie IMCYC/2, 1980 .
- 7) Práctica para dosificar concreto normal, concreto pesado y concreto masivo (ACI 211.1-81) IMCYC, 1983 .
- 8) Manual para el acreditamiento de laboratorios de pruebas de concreto, SINALP
- 9) Guía del consumidor de concreto premezclado, CARSA.

- 10) Control de calidad del concreto (ACI-704).
Nueva Serie IMCYC/8, 1981 .
- 11) Cartilla del concreto (ACI-SP-1) IMCYC/4 ,
1982 .
- 12) Compactación del concreto (ACI-309), IMCYC/5
1983 .
- 13) Informe de bancos de agregados para concreto
de la C.H. Aguamilpa, Nay. C.F.E., 1985 .